Manual do Usuário

Evolver

Solver de Algoritmo Genético
para o Microsoft Excel

Versão 7
junho, 2015

Palisade Corporation
798 Cascadilla St.
Ithaca, NY 14850
EUA
+1-607-277-8000
+1-607-277-8001 (fax)
http://www.palisade.com (website)
sales@palisade.com (e-mail)

Direitos Autorais
Copyright © 2015, Palisade Corporation.

Reconhecimento de marcas comerciais
Microsoft, Excel e Windows são marcas registradas da Microsoft Corporation.
IBM é marca registrada da International Business Machines, Inc.
Palisade, Evolver, TopRank, BestFit e RISKview são marcas registradas da Palisade Corporation.
RISK é marca comercial da Parker Brothers, divisão da Tonka Corporation, e é usada sob licença.

Índice

Índice i

Introdução 1

Introdução 3

Instruções de instalação 7

Noções Gerais 11

O que é o Evolver? 13

Evolver: Passo a Passo 21

Introdução 23

Tour do Evolver 25

Guia de Referência do Evolver 45

Comando Definição do modelo 47

Comando Configurações de otimização 67

Comando Iniciar otimização 79

Comandos Utilidades 81

Observador do Evolver 85

Otimização 97

Métodos de otimização 99

Algoritmos Genéticos e OptQuest 109

Introdução 111

História 111

Exemplo na biologia 115

Exemplo digital 117

OptQuest 121

Recursos Adicionais do Evolver **123**

Como inserir restrições **125**

Como aumentar a velocidade **134**

Como o Evolver efetua a otimização com o algoritmo genético **135**

Anexo A: Automatização do Evolver **139**

Anexo B: Perguntas e Respostas **141**

Perguntas e Respostas **141**

Anexo C: Recursos Adicionais **145**

Recursos adicionais de aprendizagem **145**

Glossário **149**

Índice remissivo **155**

Introdução

Introdução 3

Antes de começar 3
O que está incluído no pacote 3
Sobre esta versão 3
Funcionamento com o seu ambiente operacional 4
Se necessitar de ajuda 4
Antes de nos contatar 4
Requisitos de sistema do Evolver 6

Instruções de instalação 7

Instruções gerais de instalação 7
Remoção do Evolver do computador 7
DecisionTools Suite 8
Ativação do software 8
Mensagem de advertência sobre segurança de macros ao iniciar .. 9
Mais informações sobre o Evolver 10
Arquivo LeiaMe do Evolver 10
Tutorial do Evolver 10
Como aprender a usar o Evolver 10

Introdução

O Evolver é o otimizador baseado em algoritmos genéticos mais avançado e veloz disponível no mercado até hoje. Por meio da aplicação de técnicas avançadas de otimização à base de algoritmos genéticos, o Evolver fornece as melhores soluções de problemas que são "insolúveis" para os otimizadores lineares e não-lineares padrão. O software Evolver também inclui o mecanismo de otimização OptQuest, que encontra rapidamente soluções para uma ampla gama de problemas de otimização Além disso, são utilizados métodos de programação linear para processar problemas lineares. O Evolver está disponível em duas versões – profissional e industrial – para que você possa escolher o otimizador mais adequado para as suas necessidades.

Este **Manual do Usuário do Evolver** apresenta uma introdução ao Evolver e aos princípios nos quais é baseado, além de vários exemplos de como aplicar a tecnologia de algoritmo genético exclusiva do Evolver. Este manual completo também pode ser usado como guia de referência, pois é totalmente indexado e contém descrições e ilustrações de todos os recursos do Evolver.

Antes de começar

Antes de instalar o Evolver e começar a usá-lo, confira se a embalagem do produto contém todos os itens necessários, e se o seu computador atende os requisitos mínimos para usar o software sem problemas.

O que está incluído no pacote

O Evolver pode ser adquirido individualmente ou com a versão Professional ou Industrial do DecisionTools Suite. O aplicativo Evolver contém o add-in Evolver para Excel, vários exemplos para o Evolver e um sistema de ajuda eletrônica totalmente indexado. As versões Professional e Industrial do DecisionTools Suite contêm todos os componentes mencionados acima, além de outros aplicativos.

Sobre esta versão

Esta versão do Evolver pode ser instalada como um programa de 32 bits para o Microsoft Excel 2007 ou mais recente, ou como um programa de 64 bits para o Excel 2010.

Funcionamento com o seu ambiente operacional

Este Manual do Usuário pressupõe que o usuário saiba, de modo geral, usar o sistema operacional Windows e o Excel. Especificamente:

- *O usuário sabe usar o computador e o mouse.*
- *O usuário conhece termos como: ícones, clique, duplo-clique ou clicar duas vezes, menu, janela, comando, objeto.*
- *O usuário tem uma compreensão de conceitos básicos como: estrutura de diretórios, atribuição de nomes a arquivos.*

Se necessitar de ajuda

Fornecemos suporte técnico gratuito a todos os usuários registrados do Evolver com plano de manutenção vigente; também oferecemos suporte técnico mediante pagamento por incidente individual. Para ter certeza de estar registrado como usuário do Evolver, **faça seu registro online, no site http://www.palisade.com/support/register.asp**.

Ao nos contatar por telefone, tenha à mão o número de série do seu produto e o Manual do Usuário. Podemos prestar melhor suporte técnico se você estiver em frente ao seu computador, pronto para trabalhar.

Antes de nos contatar

Antes de contatar o suporte técnico, confira o seguinte:

- *Você consultou a Ajuda online?*
- *Você consultou este Manual do Usuário e assistiu ao tutorial multimídia online?*
- *Você leu o arquivo LEIAME.RTF? Ele contém informações atualizadas sobre o* Evolver*, que podem não estar incluídas no manual.*
- *O problema que está ocorrendo pode ser reproduzido sempre da mesma forma? É possível reproduzir o problema em outro computador, ou outro modelo de computador?*
- *Você consultou nosso site na internet? O endereço é:* ***http://www.palisade.com****. O site também contém respostas a perguntas frequentes recentes (FAQ, na forma de um banco de dados pesquisável de perguntas com as respostas do suporte técnico, assim como patches para o Evolver, na seção Suporte Técnico. Recomendamos acessar nosso site regularmente para ver as últimas informações sobre o* Evolver *e outros programas da Palisade.*

Como contatar a Palisade

- *A Palisade Corporation recebe com satisfação perguntas, comentários e sugestões relacionadas ao Evolver. Entre em contato com a nossa equipe de suporte técnico pelos seguintes meios:*
- *E-mail: support@palisade.com*
- *Telefone: +1-607-277-8000, dias úteis, das 9h às 17h (horário de Nova York). Siga as instruções telefônicas para ser conectado ao suporte técnico.*
- *Fax: +1-607-277-8001.*
- *Correspondência:*

  Technical Support
  Palisade Corporation
  798 Cascadilla St.
  Ithaca, NY 14850 EUA

Se quiser contatar a Palisade Europe:

- *E-mail: support@palisade-europe.com.*
- *Telefone: +44 1895 425050 (RU).*
- *Fax:: +44 1895 425051 (RU).*
- *Correspondência:*

  Palisade Europe
  31 The Green
  West Drayton
  Middlesex
  UB7 7PN
  *Reino Unido*Para contatar a Palisade Asia-Pacific:
- *E-mail: support@palisade-europe.com.*
- *Telefone: +61 2 9252 5922 (Austrália).*
- *Fax: +61 2 9252 2820 (Austrália).*
- *Correspondência:*

  Palisade Asia-Pacific Pty Limited
  Suite 404, Level 4
  20 Loftus Street
  Sydney NSW 2000
  Austrália

Ao nos contatar, pedimos que sempre inclua o nome do produto, a versão e o número de série. O número exato da versão pode ser encontrado no comando Sobre, da Ajuda, no menu do Evolver no Excel.

Versão Student

Não oferecemos suporte técnico para a versão de estudante do Evolver. Se necessitar de ajuda, recomendamos as seguintes alternativas:

- *Consulte o um professor ou colega*
- *Acesse http://www.palisade.com e veja as respostas às perguntas mais comuns.*
- *Contate nosso departamento de suporte técnico por e-mail ou fax.*

Requisitos de sistema do Evolver

Os requisitos de sistema do Evolver incluem:

- *Microsoft Windows XP ou versão superior.*
- *Microsoft Excel 2007 ou versão superior.*

Instruções de instalação

O Evolver é um suplemento (add-in) para o Microsoft Excel. O Evolver acrescenta comandos adicionais às barras de menu do Excel, otimizando a funcionalidade desse programa de planilha eletrônica.

Instruções gerais de instalação

O programa de instalação copia os arquivos de sistema do Evolver no diretório que você especificar em seu disco rígido. Para executar o programa de instalação no Windows XP ou versão superior:

1) *Dê um clique duplo no Evolver Setup.exe, no diretório onde ele foi baixado ou no CD de instalação, e siga as instruções apresentadas na tela*

Se tiver algum problema durante a instalação do Evolver, verifique se a unidade de disco na qual a instalação está sendo feita tem espaço suficiente. Após liberar espaço suficiente, tente executar a instalação novamente.

Remoção do Evolver do computador

Se quiser remover o Evolver (e as versões do Evolver ou do DecisionTools Suite Profissional ou Industrial) do seu computador, use o utilitário Adicionar/Remover Programas, no Painel de Controle, e selecione o item correspondente ao @RISK ou ao DecisionTools Suite.

DecisionTools Suite

O Evolver pode ser usado com o DecisionTools Suite, um conjunto de produtos para análise de risco e decisões que pode ser adquirido da Palisade Corporation. O procedimento padrão de instalação do Evolver coloca o programa em um subdiretório do diretório principal "Arquivos de Programas\Palisade". Isso é semelhante ao que ocorre com o Excel, que geralmente é instalado em um subdiretório do diretório principal do "Microsoft Office".

Um dos subdiretórios de Arquivos de Programas\Palisade será o diretório do Evolver (por padrão, denominado Evolver7). Este diretório contém o arquivo do suplemento Evolver (EVOLVER.XLA), além de exemplos de modelos e outros arquivos necessários para executar o Evolver. Um outro subdiretório de Arquivos de Programas\Palisade é o diretório SISTEMA (ou SYSTEM), que contém os arquivos necessários para cada programa do DecisionTools Suite, inclusive as bibliotecas dos programas e arquivos de ajuda comuns.

Ativação do software

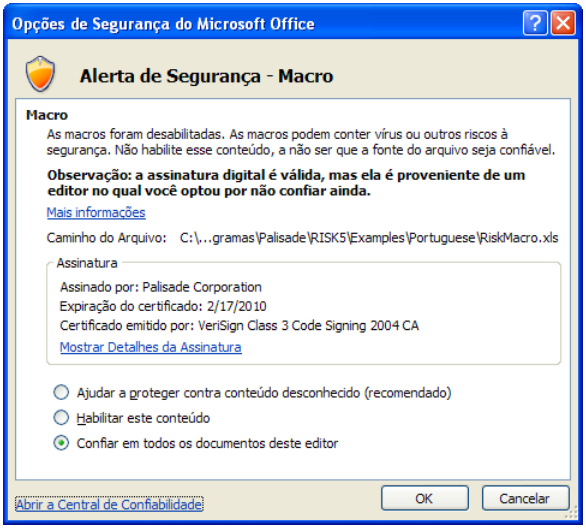
A ativação é um processo de verificação de licença que é efetuado apenas uma vez e é necessário para poder executar o software Palisade como produto plenamente licenciado. A fatura impressa do produto, ou a fatura enviada por e-mail, contém a **ID de Ativação**, que consiste em uma sequência de letras e números separados por hífens, por exemplo: "DNA-6438907-651282-CDM". Se você forneceu a ID de Ativação durante a instalação, o software será ativado ao final do processo de instalação; nenhuma outra ação será necessária. Se preferir ativar o software após a instalação, selecione o comando **Gerenciador de Licenças** no menu **Ajuda**.

O Gerenciador de Licenças pode ser usado para ativar, desativar e transferir licenças de software de uma máquina para outra. Também é usado para gerenciar licenças em instalações de rede. Siga as instruções e caixas de diálogo apresentadas pelo Gerenciador de Licenças para executar o procedimento desejado relativo às licenças.

Mensagem de advertência sobre segurança de macros ao iniciar

O Microsoft Office permite definir várias configurações de segurança para impedir que macros nocivas ou indesejáveis sejam executadas nos aplicativos do Office. Uma mensagem de advertência aparece sempre que se tentar carregar um arquivo que contém macros, a menos que se tenha definido o nível de segurança como mínimo. Para que essa mensagem não apareça toda vez que se executar o add-in, a Palisade inseriu assinaturas digitais nos arquivos do add-in. Assim, após o usuário especificar **Palisade Corporation** como fonte confiável, todos os add-ins da Palisade poderão ser abertos sem que sejam apresentadas mensagens de advertência. Para fazer isso:

Ao iniciar o Evolver, se aparecer uma caixa de diálogo de Aviso de Segurança (semelhante à mostrada abaixo), clique em **Confiar em todos os documentos deste editor**.


Opções de Segurança do Microsoft Office
Alerta de Segurança - Macro
Macro
As macros foram desabilitadas. As macros podem conter vírus ou outros riscos à segurança. Não habilite esse conteúdo, a não ser que a fonte do arquivo seja confiável.
Observação: a assinatura digital é válida, mas ela é proveniente de um editor no qual você optou por não confiar ainda.
Mais informações
Caminho do Arquivo: C:\...gramas\Palisade\RISK5\Examples\Portuguese\RiskMacro.xls
Assinatura
Assinado por: Palisade Corporation
Expiração do certificado: 2/17/2010
Certificado emitido por: VeriSign Class 3 Code Signing 2004 CA
Mostrar Detalhes da Assinatura
Ajudar a proteger contra conteúdo desconhecido (recomendado)
Habilitar este conteúdo
Confiar em todos os documentos deste editor
Abrir a Central de Confiabilidade
OK
Cancelar

Mais informações sobre o Evolver

Mais informações sobre o Evolver podem ser encontradas nas seguintes fontes:

Arquivo LeiaMe do Evolver

Este arquivo contém um resumo do Evolver, bem como notícias recentes ou informações sobre novas versões do software. Para ver o arquivo LeiaMe, selecione o comando Ajuda do Evolver, em seguida selecione Documentação e LeiaMe.

Tutorial do Evolver

O tutorial online do Evolver apresenta uma introdução rápida do Evolver e dos algoritmos genéticos a usuários principiantes. O tutorial leva apenas alguns minutos para ser assistido. Para saber como acessar o tutorial, consulte a seção Como aprender a usar o Evolver, a seguir.

Como aprender a usar o Evolver

A maneira mais rápida de aprender a usar o Evolver é com o tutorial online, em formato de filme, no qual especialistas apresentam modelos e exemplos passo a passo explicando como usar o programa. O tutorial é uma apresentação multimídia sobre os principais recursos do Evolver.

Para acessar o tutorial, selecione o comando **Vídeos** na faixa ou barra de ferramentas do Evolver.

Noções Gerais

O que é o Evolver? **13**

Como o Evolver funciona? **13**
Algoritmos genéticos **14**
O que é o otimização? **14**
Por que criar modelos no Excel? **16**
Por que usar o Evolver? **17**
Não é mais necessário adivinhar **17**
Mais flexibilidade **17**
Maior capacidade **18**
Custo-benefício **19**

O que é o Evolver?

O pacote de software Evolver fornece ao usuário uma maneira fácil de encontrar a melhor solução para praticamente qualquer tipo de problema. Em poucas palavras: o Evolver encontra os melhores inputs (entradas de dados) para produzir o output (resultado) desejado. Pode-se usar o Evolver para encontrar a combinação, a ordem ou o agrupamento correto de variáveis que produzem o maior lucro, o menor risco ou o maior número de mercadorias com a menor quantidade de materiais. Geralmente, o Evolver é usado como suplemento (add-in) do programa de planilha eletrônica Microsoft Excel; o usuário configura um modelo do seu problema no Excel e, em seguida, chama o Evolver para solucioná-lo.

É necessário primeiro criar um modelo do problema no Excel e, em seguida, descrevê-lo para o add-in Evolver.

O Excel fornece todas as fórmulas, funções, recursos gráficos e macros que a maioria dos usuários necessita para criar modelos realísticos de seus problemas. O Evolver fornece a interface para descrever o que o usuário quer encontrar, e fornece os mecanismos para fazer isso. Juntos, eles possibilitam encontrar as melhores soluções para praticamente qualquer problema que possa ser modelado.

Como o Evolver funciona?

O Evolver usa o OptQuest e algoritmos genéticos para procurar as melhores soluções para determinado problema. Além disso, se o programa determinar que um problema é linear, ele utiliza métodos de programação linear.

OptQuest

O mecanismo OptQuest usa otimização matemática, meta-heurística e componentes de rede neural para direcionar a busca às melhores soluções para todos os tipos de problemas de planejamento e decisão. Os métodos do OptQuest empregam procedimentos meta-heurísticos modernos, inclusive busca Tabu, redes neurais e pesquisa de dispersão em um único método composto. Para saber mais sobre o OptQuest, veja Algoritmos genéticos e OptQuest.

Algoritmos genéticos

O Evolver usa um conjunto proprietário de ***algoritmos genéticos*** para procurar soluções ótimas para determinado problema, em conjunto com ***distribuições de probabilidade*** e ***simulações*** que levam em conta a incerteza presente no modelo.

Os algoritmos genéticos do Evolver são usados para encontrar a melhor solução possível para o modelo específico. Algoritmos genéticos funcionam como os princípios darwinianos de seleção natural, criando um ambiente em que centenas de soluções possíveis para um problema competem entre sim, e apenas a mais apta sobrevive. Da mesma forma que na evolução biológica, cada solução pode transmitir seus "bons" genes a soluções "descendentes", a fim de que toda a população de soluções continue a evoluir no sentido de criar melhores soluções.

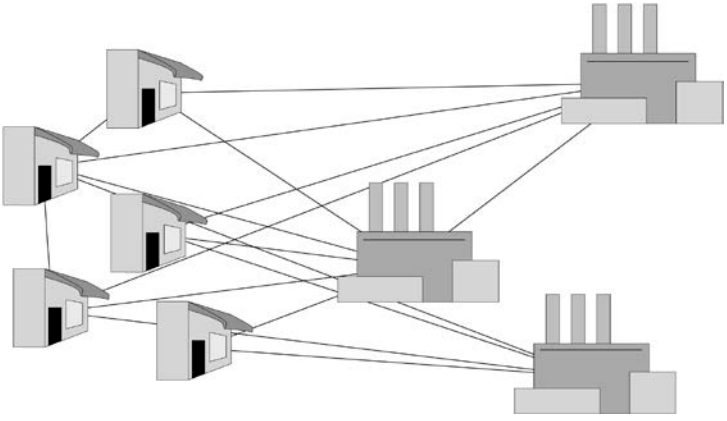
Como você já deve ter notado, a terminologia usada ao se trabalhar com algoritmos genéticos é muito semelhante à usada no campo que inspirou essa tecnologia. Falamos sobre como funções de "crossover" ajudam a concentrar a busca de soluções, como as taxas de "mutação" ajudam a diversificar o "pool genético", e como avaliamos toda a "população" de soluções ou "organismos". Para saber mais sobre como os algoritmos genéticos do Evolver funcionam, veja Algoritmos genéticos e OptQuest.

Programação linear

O Evolver soluciona rapidamente problemas lineares usando métodos de programação linear (se o Modo de otimização estiver definido como Automático, na guia Mecanismo da caixa de diálogo Configurações de otimização).

O que é o otimização?

Otimização é o processo de tentar encontrar a melhor solução possível para um problema específico que pode ter muitas soluções. A maioria dos problemas envolve muitas variáveis que interagem de acordo com determinadas fórmulas e restrições. Por exemplo, uma empresa pode ter três fábricas que fabricam diferentes quantidades de diversos produtos. Dado o custo de produção de cada produto para cada fábrica, o custo de remessa a cada loja e as limitações de cada fábrica, qual seria a melhor maneira de atender adequadamente a demanda das lojas locais e, ao mesmo tempo, minimizar os custos de transporte? As ferramentas de otimização são projetadas para responder esse tipo de pergunta.



Frequentemente, o objetivo da otimização é encontrar a combinação que rende o máximo dados determinados recursos.

No exemplo acima, cada solução proposta apresentaria uma lista completa de quais mercadorias específicas, produzidas por quais fábricas específicas, devem ser transportadas por qual caminhão para qual loja de varejo. Outros exemplos de problemas de otimização são relacionados a como produzir o maior lucro, o menor custo, salvar o maior número de vidas, produzir a menor quantidade de ruído em um circuito, encontrar a rota mais curta entre várias cidades ou a mescla mais eficaz de veículos publicitários. Outro tipo importante de problema de otimização diz respeito à programação de horários ou agendamento de pessoal com o objetivo de maximizar a eficiência durante cada turno ou minimizar conflitos de agendamento entre reuniões de grupos em diferentes horários. Para saber mais sobre otimização, veja Otimização.

Por que criar modelos no Excel?

Para aumentar a eficiência de qualquer sistema, é necessário, primeiro, entender como ele funciona. É para isso que construímos um modelo funcional do sistema. Modelos são abstrações necessárias para estudar sistemas complexos; contudo, para que os resultados sejam aplicáveis ao "mundo real", não podemos simplificar excessivamente as relações de causa e efeito entre as variáveis do modelo. Softwares e computadores cada vez mais avançados possibilitam que economistas construam modelos mais realísticos da economia, que cientistas melhorem as previsões de reações químicas, e que executivos aumentem a sensibilidade de seus modelos empresariais.

Nos últimos anos, equipamentos de informática e programas como o Microsoft Excel avançaram tanto que hoje praticamente qualquer pessoa com um computador pode criar modelos realísticos de sistemas complexos. As funções integradas no Excel, os recursos de macros e a interface intuitiva e agilizada permitem que até mesmo usuários principiantes modelem e analisem problemas sofisticados. Para saber mais sobre como construir um modelo, veja Recursos Adicionais do Evolver.

Por que usar o Evolver?

Com a tecnologia exclusiva do Evolver, qualquer pessoa que tenha um computador e o Excel para Windows pode aproveitar os benefícios da otimização. Antes do Evolver, existiam três alternativas para quem quisesse aumentar a eficiência ou encontrar soluções otimizadas: adivinhar, usar um software de baixa capacidade para solucionar os problemas ou contratar consultores especializados em otimização para criar e programar um software personalizado. A seguir, apresentamos algumas das principais vantagens de se usar o Evolver:

Não é mais necessário adivinhar

Ao se lidar com um grande número de variáveis que interagem entre si, na tentativa de encontrar a melhor combinação, ordem e grupo dessas variáveis, pode ser tentador simplesmente "dar um bom chute". Um número surpreendente de pessoas pressupões que qualquer tipo de modelagem e análise que vá além do chute ou adivinhação requer programação complicada, estatísticas ou algoritmos matemáticos complexos. Uma boa solução otimizada pode economizar milhões de reais, milhares de litros de combustível, meses de trabalho perdido etc. Agora que computadores de alta capacidade estão disponíveis a preços cada vez mais acessíveis, e que existem softwares como o Excel e o Evolver facilmente à disposição, não há motivo para adivinhar as soluções ou perder tempo precioso experimentando manualmente inúmeros cenários.

Maior exatidão, maior significância

O Evolver possibilita usar toda a gama de fórmulas do Excel para construir modelos mais realísticos de qualquer sistema. Com o Evolver, não é necessário comprometer a exatidão do modelo devido à capacidade insuficiente do algoritmo de lidar com as complexidades do mundo real. Os solvers básicos convencionais (ferramentas de programação lineares e estatísticas) forçam o usuário a fazer pressuposições sobre como as variáveis do problema interagem, obrigando-o a construir modelos super-simplificados e irrealísticos dos problemas. O usuário é forçado a pressupor valores para as variáveis incertas, devido à capacidade insuficiente do otimizador de lidar com valores possíveis para componentes incertos do modelo. Depois de simplificar o sistema o suficiente para poder usá-lo em um solver desse tipo, a solução resultante em geral é abstrata demais para poder ser colocada em prática. Nenhum problema que envolva um grande número de variáveis, funções não lineares, tabelas de referência, condições hipotéticas ("If... Then"), consultas a bancos de dados ou elementos estocásticos (aleatórios) pode ser solucionado por esses métodos, não importa o quanto se simplifique o modelo.

Mais flexibilidade

Existem muitos algoritmos de resolução que funcionam bem para solucionar problemas lineares e não-lineares simples e de pequeno porte, inclusive algoritmos *hill-climbing*, *baby-solvers* e outros métodos matemáticos. Mesmo quando disponíveis como suplementos (add-ins) de planilhas eletrônicas, essas ferramentas de otimização para uso geral só efetuam a otimização numérica. Para problemas mais complexos ou de grande porte, às vezes é possível programar algoritmos personalizados específicos e obter bons resultados, mas isso exige muita pesquisa e desenvolvimento. Mesmo assim, o programa resultante necessitaria ser modificado cada vez que houvesse alguma mudança no modelo.

O Evolver, além de ter capacidade para lidar com problemas numéricos, é o único programa à venda no mundo inteiro que soluciona a maioria dos problemas combinatórios. Referimo-nos aos tipos de problemas em que as variáveis precisam ser embaralhadas (permutadas) ou combinadas entre si. Por exemplo, escolher a ordem de entrada em campo dos jogadores de um time de beisebol pode ser um problema combinatório; trata-se de mudar as posições dos jogadores na lista de entrada. O Evolver pode encontrar a melhor ordem das tarefas a serem executadas como parte de um projeto, avaliar somente as soluções que atendam a restrições de precedência específicas (ou seja, restrições que exigem a execução de certas tarefas antes de outras). Problemas mais complexos de agendamento ou cronogramas também são problemas combinatórios. O mesmo software – Evolver – pode solucionar todos esses tipos de problemas e muitos outros que outras ferramentas tipo solver não conseguem solucionar.

Maior capacidade

O Evolver encontra melhores soluções. A maioria dos softwares emprega uma derivação matemática e sistemática para chegar a soluções otimizadas. Frequentemente, esses métodos se limitam a pegar uma solução existente e procurar a resposta mais próxima que seja melhor. Essa solução "local" obtida pode estar muito longe de ser a melhor solução. O Evolver, por outro lado, coleta amostras de modo inteligente, de todo o universo de possibilidades, produzindo uma solução "global" muito melhor.

Mais fácil de usar

Apesar de todas as vantagens de capacidade e flexibilidade que o Evolver oferece, ele é um programa fácil de usar, porque é absolutamente desnecessário entender suas técnicas complexas de otimização. Para o Evolver, os elementos básicos do problema não são importantes; ele só precisa de um modelo em planilha eletrônica para poder avaliar os diversos cenários. Você só precisa selecionar as células da planilha que contêm as variáveis e informar ao Evolver o que está procurando. O Evolver inteligentemente oculta a tecnologia difícil subjacente e automatiza o processo de variações hipotéticas (*what-if*) na análise do problema.

Embora muitos programas comerciais tenham sido desenvolvidos para programação matemática e construção de modelos, os programas de planilhas eletrônicas ainda são, sem dúvida, os preferidos dos usuários, e milhões desses programas são vendidos todos os meses. Com um formato intuitivo de linhas e colunas, as planilhas eletrônicas são mais fáceis de configurar e manter do que outros pacotes especializados. Elas também são mais compatíveis com outros programas, como processadores de texto e bancos de dados, e oferecem um maior número de fórmulas predefinidas, opções de formatação, recursos para elaboração de gráficos e macros do que qualquer outro pacote autônomo. Como o Evolver é um suplemento ou add-in para o Microsoft Excel, o usuário tem acesso à gama completa de funções e ferramentas de desenvolvimento deste, o que lhe permite construir facilmente modelos mais realísticos do seu sistema.

Custo-benefício

Muitas empresas contratam consultores treinados para criar sistemas de otimização personalizados. Esses sistemas geralmente funcionam bem, mas requerem muitos meses de trabalho e investimento para serem desenvolvidos e implantados. Esses sistemas também são difíceis de aprender e, portanto, incorrem custos de treinamento e manutenção constantes. Se o sistema precisar ser alterado, poderá ser necessário desenvolver um algoritmo totalmente novo para encontrar as soluções ótimas. Com um investimento consideravelmente menor, o Evolver fornece os algoritmos de otimização mais possantes disponíveis, e possibilita obter soluções rápidas e exatas para uma grande variedade de problemas. Como ele funciona em um ambiente intuitivo e já conhecido, não há necessidade de treinamento nem manutenção dispendiosa.

A capacidade de otimização do Evolver pode até ser acrescentada aos programas personalizados do próprio usuário. Em apenas alguns dias, você pode usar o Visual Basic para desenvolver o seu próprio sistema de agendamento, distribuição, produção ou gerenciamento

financeiro. Veja mais detalhes de como desenvolver aplicativos baseados no Evolver no Kit de Desenvolvedor.

Evolver: Passo a Passo

Introdução **23**

Tour do Evolver **25**

Como iniciar o Evolver **25**
Barra de ferramentas do Evolver **25**
Como abrir um exemplo de modelo **25**
Caixa de diálogo Modelo do Evolver **26**
Seleção da célula-alvo **27**
Como especificar os intervalos de células ajustáveis **28**
Restrições **31**
Restrições simples e de fórmula **32**
Outras opções do Evolver **35**
Condições de parada **35**
Opções de exibição **37**
Execução da otimização **38**

Introdução

Neste capítulo, vamos guiá-lo passo a passo por todo o processo de otimização do Evolver. Se o Evolver ainda não estiver instalado no disco rígido, consulte a seção de instalação em Introdução para instalar o programa antes de iniciar este tutorial.

Vamos começar abrindo um modelo de planilha eletrônica predefinido; em seguida, definir o problema usando distribuições de probabilidade e as caixas de diálogo do Evolver. Finalmente, vamos ver todo o processo de busca de soluções do Evolver e explorar algumas das várias opções fornecidas pelo Observador do Evolver. Para obter mais informações sobre um tópico específico, veja o índice remissivo no final deste manual ou consulte a seção Referências do Evolver.

NOTA: As telas a seguir são baseadas no Excel 2010. Se for usada outra versão do Excel, as janelas poderão ser um pouco diferentes das aqui apresentadas.

O processo de solução de problemas começa com um modelo que representa com exatidão o problema que você quer resolver. O modelo precisa ter condições de avaliar uma série específica de valores de input (células ajustáveis) e produzir uma classificação numérica de como esse inputs solucionam o problema (a avaliação da função "objetivo"). À medida que o Evolver procura soluções, esta função objetivo fornece feedback sobre as adivinhações boas ou ruins, possibilitando a "reprodução" de melhores adivinhações. Ao criar um modelo do seu problema, é necessário prestar muita atenção à função objetivo, porque o Evolver fará o possível para maximizar (ou minimizar) essa célula.

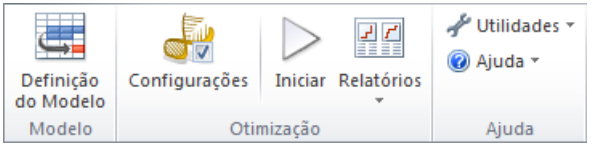
Tour do Evolver

Como iniciar o Evolver

Para iniciar o Evolver faça o seguinte: ***1) clique no ícone do* Evolver *na área de trabalho do Windows; ou 2) selecione* Palisade DecisionTools *e, em seguida,* Evolver 6 *na lista de programas do menu Iniciar do Windows. Esses dois métodos iniciam o* Microsoft Excel e o Evolver.**

***Barra de ferramentas do* Evolver**

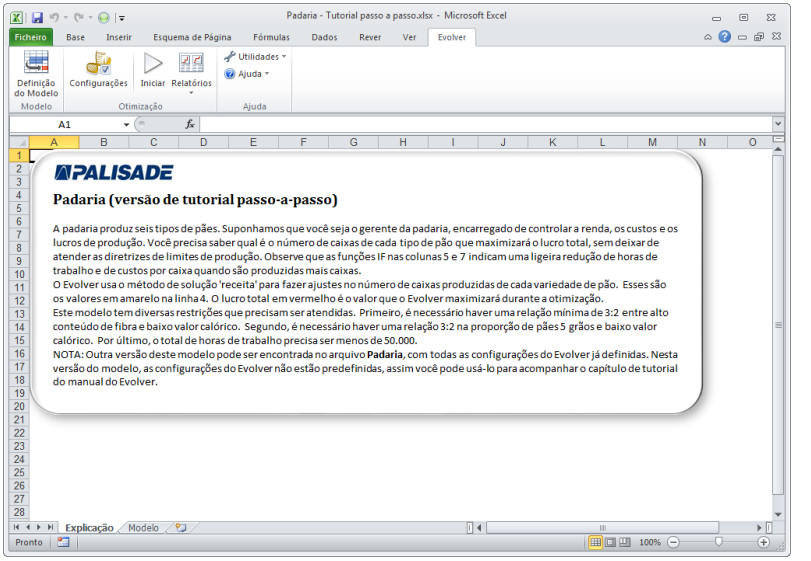
Quando o Evolver é carregado, uma nova barra de ferramentas aparece no Excel. Essa barra de ferramentas contém botões que podem ser usados para definir configurações do Evolver e iniciar, pausar e parar otimizações.



Como abrir um exemplo de modelo

Para conhecer os recursos do Evolver, vamos examinar um exemplo de modelo que foi instalado durante a instalação do Evolver. Para fazer isso:

1) **Abra a planilha Padaria - Tutorial passo a passo.xlsx (ou xls), usando o comando Planilhas exemplo, no menu Ajuda.**


Padaria - Tutorial passo a passo.xlsx - Microsoft Excel
PALISADE
Padaria (versão de tutorial passo-a-passo)
A padaria produz seis tipos de pães. Suponhamos que você seja o gerente da padaria, encarregado de controlar a renda, os custos e os lucros de produção. Você precisa saber qual é o número de caixas de cada tipo de pão que maximizará o lucro total, sem deixar de atender as diretrizes de limites de produção. Observe que as funções IF nas colunas 5 e 7 indicam uma ligeira redução de horas de trabalho e de custos por caixa quando são produzidas mais caixas.
O Evolver usa o método de solução 'receita' para fazer ajustes no número de caixas produzidas de cada variedade de pão. Esses são os valores em amarelo na linha 4. O lucro total em vermelho é o valor que o Evolver maximizará durante a otimização.
Este modelo tem diversas restrições que precisam ser atendidas. Primeiro, é necessário haver uma relação mínima de 3:2 entre alto conteúdo de fibra e baixo valor calórico. Segundo, é necessário haver uma relação 3:2 na proporção de pães 5 grãos e baixo valor calórico. Por último, o total de horas de trabalho precisa ser menos de 50.000.
NOTA: Outra versão deste modelo pode ser encontrada no arquivo Padaria, com todas as configurações do Evolver já definidas. Nesta versão do modelo, as configurações do Evolver não estão predefinidas, assim você pode usá-lo para acompanhar o capítulo de tutorial do manual do Evolver.
Explicação
Modelo
Pronto

Esta planilha de exemplo contém um problema simples de maximização de lucros para uma padaria. A padaria produz 6 tipos de pães. Suponhamos que você é o gerente da padaria, encarregado de controlar a renda, os custos e os lucros da produção. Você precisa

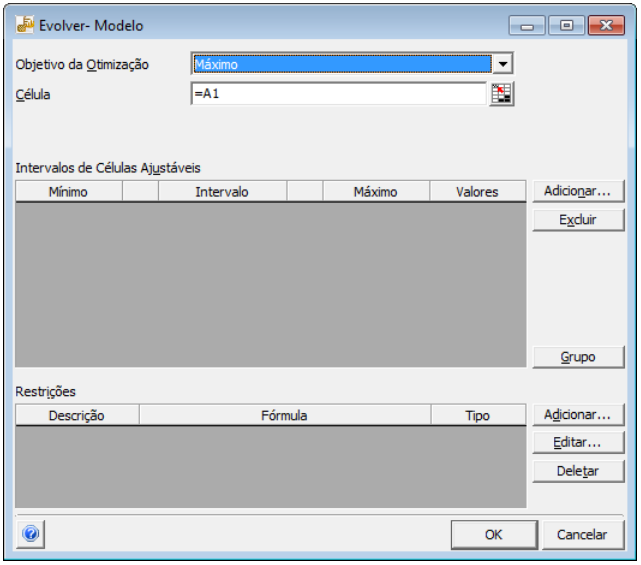
determinar o número de caixas de cada tipo de pão que maximizará o lucro total, sem deixar de atender as diretrizes de limites de produção. As diretrizes a serem obedecidas são: 1) *cumprir a quota de produção de pães de baixo teor calórico*; 2) *manter uma relação aceitável fibra/caloria*; 3) *manter uma relação aceitável entre pães de 5 grãos e baixo teor calórico*; e 4) *manter o ciclo de produção dentro dos limites de horas de mão-de-obra*.

Caixa de diálogo Modelo do Evolver

Para definir as opções do Evolver para a planilha em questão, faça o seguinte:

1) ***Clique no ícone Definição de Modelo, na faixa de opções do Evolver (na extrema esquerda).***

Isso abre a caixa de diálogo Modelo do Evolver, mostrada a seguir:



A caixa de diálogo Modelo do Evolver foi criada para que o usuário possa descrever o problema específico de forma simples e direta. No exemplo do tutorial fornecido, estamos tentando encontrar o número de caixas de cada tipo de pão que devem ser produzidas para maximizar o lucro total.

Seleção da célula-alvo

O "lucro total" do modelo do exemplo é o que chamamos de célula-alvo. Esta é a célula cujo valor você está tentando minimizar ou maximizar, ou a célula cujo valor você está tentando aproximar o máximo possível de um valor predefinido. Para especificar a célula-alvo

1) ***Defina a opção "Objetivo da otimização" como "Máximo".***

2) ***No campo "Célula", digite $I$11, que é a célula-alvo.***

As referências de células podem ser inseridas nos campos de diálogos do Evolver de duas formas: 1) você pode clicar no campo com o cursor e digitar a referência diretamente no campo; ou 2) com o cursor no campo selecionado, você pode clicar no ícone de entrada de referência e selecionar diretamente a célula ou células da planilha com o mouse.

Como especificar os intervalos de células ajustáveis

Agora é necessário especificar o local das células que contêm valores que o Evolver pode ajustar para procurar soluções. Essas variáveis são acrescentadas e editadas um bloco por vez na seção *Intervalos de células ajustáveis* da caixa de diálogo Modelo. O número de células que se pode inserir nos intervalos de células ajustáveis depende da versão do Evolver que está sendo usada.

1) ***Clique "no botão "Adicionar", na seção "Intervalos de células ajustáveis".***

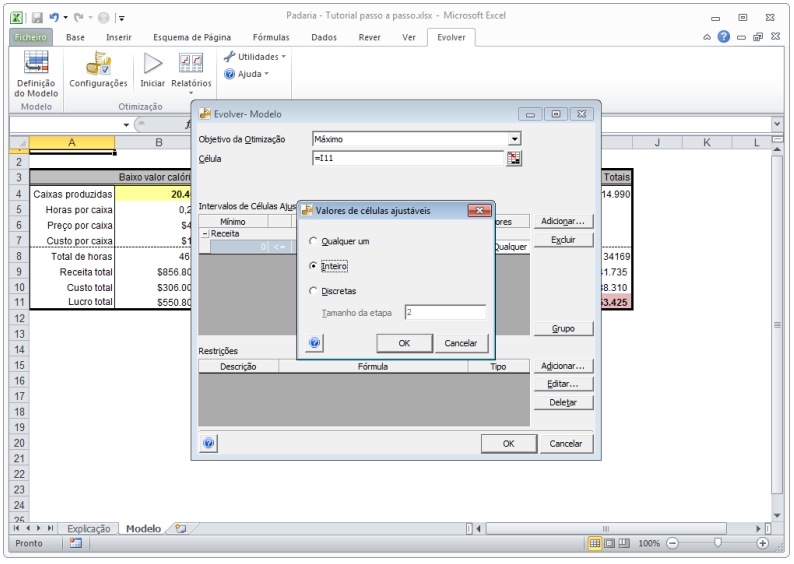
2) ***Selecione $C$4:$G$4 como as células do Excel que deseja especificar como intervalo de células ajustáveis.***

Definição de mínimo e máximo do intervalo de células ajustáveis

Na maioria das vezes, convém restringir os valores possíveis para o intervalo de células ajustáveis a um intervalo específico, com valor mínimo e valor máximo. No Evolver, nos referimos a isso como uma restrição de intervalo. Os valores mínimo e máximo do intervalo podem ser inseridos rapidamente selecionando-se o conjunto de células a serem ajustadas. No caso da Padaria, por exemplo, o valor mínimo possível de caixas produzidas de cada tipo de pão neste intervalo é 0 e o máximo é 100.000. Para definir essa restrição de intervalo:

1) ***Digite 0 na célula Mínimo e 100.000 na célula Máximo.***

1) ***Na célula Valores, clique na seta para baixo e selecione Inteiro.***



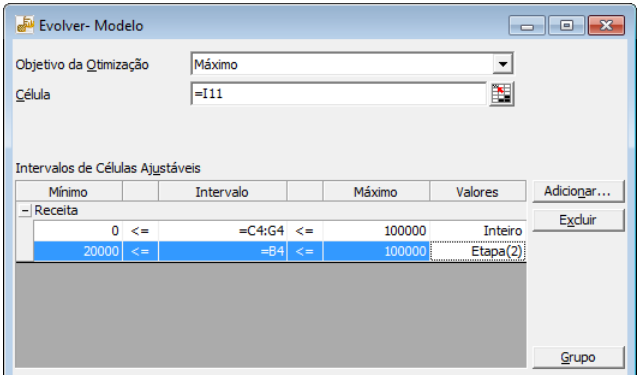
Agora, insira um segundo intervalo de células a ser ajustado:

1) ***Clique em Adicionar para inserir o segundo intervalo de células.***

2) ***Selecione a célula B4.***

3) ***Insira 20.000 como Mínimo e 100.000 como Máximo.***

4) ***Na célula Valores, clique na seta para baixo e selecione Discreta. Aceite o valor 2 predefinido em Tamanho da etapa.***



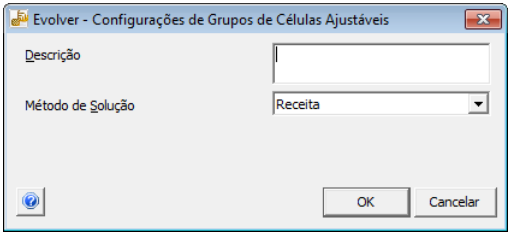
Isso especifica a última célula ajustável, B4, correspondente ao nível de produção de pão de baixo valor calórico. Selecionar 2 como tamanho da etapa exige que o número de casos seja par (valores aceitáveis são 20000, 20002, 20004....).

Se houvesse mais alguma variável neste problema, continuaríamos a acrescentar intervalos de células ajustáveis. No Evolver, pode-se criar um número ilimitado de grupos de células ajustáveis. Para acrescentar mais células, clique outra vez no botão "Adicionar".

Pode ser que mais tarde você queira conferir as células ajustáveis ou mudar alguma definição. Para fazer isso, é só editar o intervalo de mínimo-máximo na tabela. Você também pode selecionar um conjunto de células e apagá-lo, clicando no botão "Excluir".

Seleção do método de solução

Ao definir células ajustáveis, você pode especificar o ***método de solução*** a ser usado. Diversos tipos de células ajustáveis podem ser processados usando diferentes métodos de solução. Os métodos de solução são definidos para um grupo específico de células ajustáveis; para alterá-los basta clicar no botão ***"Grupo"*** e selecionar Editar para exibir a caixa de diálogo **Configurações de Grupos de Células Ajustáveis**. Muitas vezes, é usado o método de solução "receita", em que o valor de cada célula pode ser alterado independentemente dos valores das outras. Como este é o método de solução padrão, não há necessidade de mudá-lo.



Os métodos de solução "receita" e "ordem" são os mais usados; eles também podem ser usados juntos para solucionar problemas combinatórios complexos. Mais especificamente, o método de solução "receita" trata cada variável como um dos ingredientes de uma receita e tenta encontrar a "melhor combinação de ingredientes" mudando o valor de cada variável independentemente. O método de solução "ordem", por sua vez, troca os valores das variáveis, embaralhando os valores originais até encontrar "a melhor ordem".

Neste modelo, deixe o método de solução como Receita e simplesmente faça o seguinte:

- **No campo Descrição, use o rótulo "Caixas produzidas".**

Restrições

O Evolver permite definir restrições, que são condições que precisam ser satisfeitas para que a solução seja válida. No modelo do exemplo, há três restrições adicionais que precisam ser atendidas para que o possível conjunto de níveis de produção de cada tipo de pão seja válido. Essas condições são adicionais, em relação às restrições de intervalo que já foram definidas para as células ajustáveis. Elas são as seguintes:

1) **Manter o ciclo de produção dentro dos limites de horas de mão-de-obra (o total de horas de mão-de-obra usadas deve ser < 50.000)**

2) **Manter uma relação aceitável entre pão com alto teor de fibra e pão com baixo teor calórico (o número de caixas de pão com alto teor de fibra produzido deve ser > = 1,5* que o número de caixas de pão de baixo teor calórico).**

3) **Manter uma relação aceitável entre pão de 5 grãos e pão com baixo teor calórico (o número de caixas de pão 5 grãos produzido deve ser > = 1,5* que o número de caixas de pão de baixo teor calórico).**

Cada vez que o Evolver gera uma solução possível para o seu modelo, ele verifica se as restrições definidas foram atendidas.

As restrições são mostradas na parte inferior da seção *Restrições* da caixa de diálogo Modelo do Evolver. Podem ser definidos dois tipos de restrições no Evolver:

- **Hard** (rígidas) são condições que precisam obrigatoriamente ser atendidas para que a solução seja válida (ex.: uma restrição rígida de iteração poderia ser C10<=A4; nesse caso, se a solução gerar um valor maior que o da célula A4 para a célula C10, a solução será descartada).

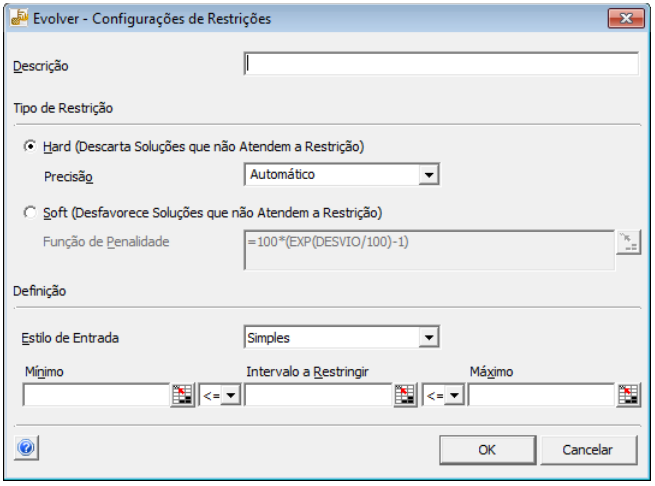
- **Soft** (flexíveis) são condições que, de preferência, devem ser atendidas na medida máxima possível, mas podem ser ajustadas em troca de uma melhoria substancial no resultado da célula-alvo. (ex.: uma restrição flexível poderia ser C10<100. Nesse caso, C10 poderia conter um valor acima de 100, mas se isso ocorresse, o valor calculado para a célula-alvo seria diminuído de acordo com a função de penalidade definida pelo usuário).

Adição de restrição

Para especificar uma restrição:

1) *Clique no botão* **Adicionar**, *na seção de* **Restrições** *da caixa de diálogo principal do* **Evolver.**

Isso abre a caixa de diálogo Configurações de restrições, na qual podem ser definidas as restrições para o modelo.



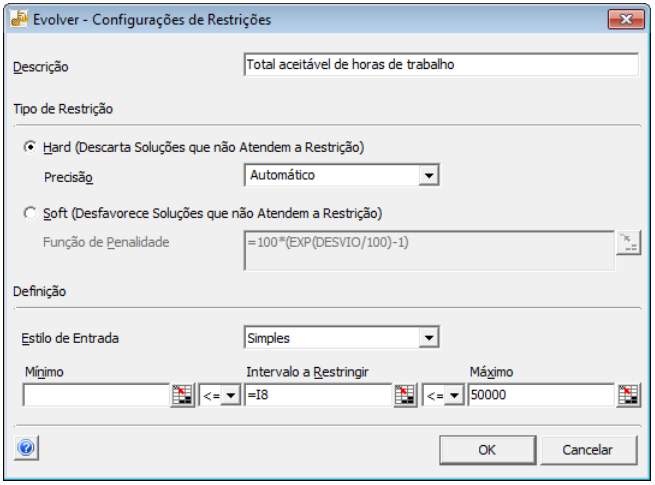
Restrições simples e de fórmula

As restrições podem ser definidas em dois formatos: *Simples* e *Fórmula*. O formato simples permite inserir restrições usando relações como: <, <=, >, >= ou =. Uma restrição simples típica seria *0<valor de A1<10*, onde A1 é inserido na caixa *Intervalo de células*, 0 é inserido na caixa *Mín* e 10 é inserido na caixa *Máx*. O operador desejado é selecionado nas caixas da lista suspensa. Ao usar uma restrição de formato simples, você pode inserir apenas o valor Mín., apenas o Máx. ou ambos.

Uma restrição de fórmula, por outro lado, permite inserir qualquer fórmula válida do Excel como restrição. Por exemplo, é possível inserir a seguinte fórmula "=SE(A1>100, B1>0, B1<0)". Nessa restrição, a exigência de B1 ser positivo ou negativo dependerá do valor da célula A1. Como alternativa, a fórmula pode ser digitada em uma célula; se a célula for C1, pode-se digitar "=C1" no campo Fórmula da caixa Configurações de restrições. Em geral, digitar restrições no formato simples ajuda o RISKOptimizer a encontrar mais rapidamente a melhor solução. A fórmula mencionada acima poderia ser digitada na célula D1 como "=SE(A1>100, B1, -B1)" Em seguida, pode-se digitar uma restrição de formato simples que exija que D1>0.

Para inserir as restrições no modelo Padaria, seria necessário especificar três novas restrições rígidas. Essas restrições são rígidas porque as condições definidas precisam ser atendidas, caso contrário a solução será descartada pelo Evolver. Primeiro, insira as restrições rígidas em formato simples.

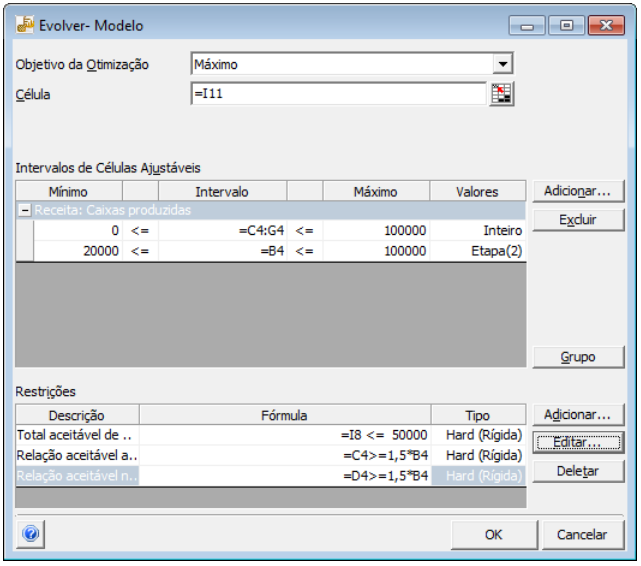
1) ***Insira o "Total aceitável de horas de trabalho" na caixa da descrição.***
2) ***Na caixa Intervalo a Restringir, digite I8.***
3) ***Selecione o operador<= à direita do Intervalo a Restringir.***
4) ***Na caixa Máximo, insira 50.000***
5) ***Clique em OK para confirmar a restrição.***



Agora, insira as restrições rígidas em formato de fórmula.

1) *Clique em* **Adicionar** *para exibir novamente a caixa de diálogo* **Configurações de restrições.**
2) *Na caixa de descrição, insira "Relação aceitável alta fibra – baixa caloria".*
3) *Na caixa* **Estilo de entrada**, *selecione* **Fórmula.**
4) *Na caixa* **Fórmula de restrição**, *digite C4>=1,5*B4.*
5) *Clique em* **OK.**
6) *Clique em* **Adicionar** *para exibir novamente a caixa de diálogo* **Configurações de restrições.**
7) *Na caixa de descrição, insira "Relação aceitável na proporção de pães 5 grãos – baixa caloria".*
8) *Na caixa* **Estilo de entrada**, *selecione* **Fórmula.**
9) *Na caixa* **Fórmula de restrição**, *digite D4>=1,5*B4.*
10) *Clique em* **OK.**

Agora a caixa de diálogo Modelo com a seção de restrições preenchida será semelhante a esta:



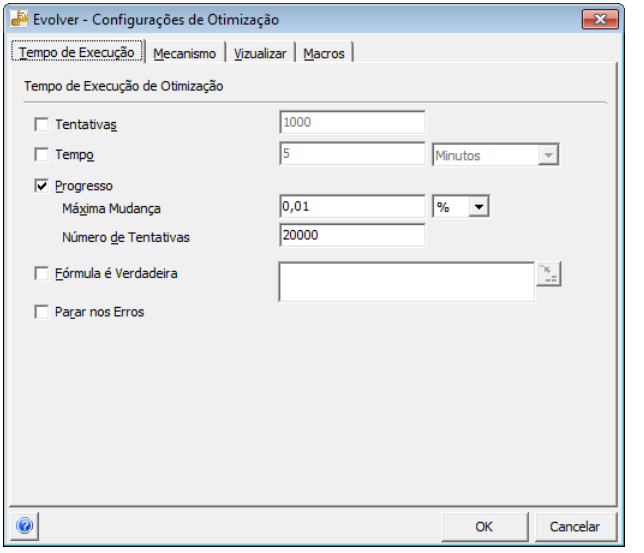
Outras opções do Evolver

Opções como *Mostrar recálculos do Excel* e *Opções de tempo de execução* estão disponíveis para controlar como o Evolver deve funcionar durante uma otimização. Vamos especificar algumas condições de tempo de execução e configurações de atualização da exibição.

Condições de parada

O Evolver roda durante quanto tempo você quiser. As condições de parada possibilitam especificar que o Evolver pare automaticamente em uma das seguintes situações: a) *após um certo número de cenários ou tentativas terem sido examinadas;* b) *após decorrido determinado intervalo de tempo;* c) *quando não tiver ocorrido nenhuma melhoria nos últimos n cenários;* d) *quando a fórmula de Excel fornecida é avaliada como VERDADEIRA*. Para ver e editar as opções de Tempo de Execução

1) ***Clique no ícone Configurações na faixa de opções ou barra de ferramentas do* Evolver.**
2) ***Selecione a guia Tempo de Execução*.**



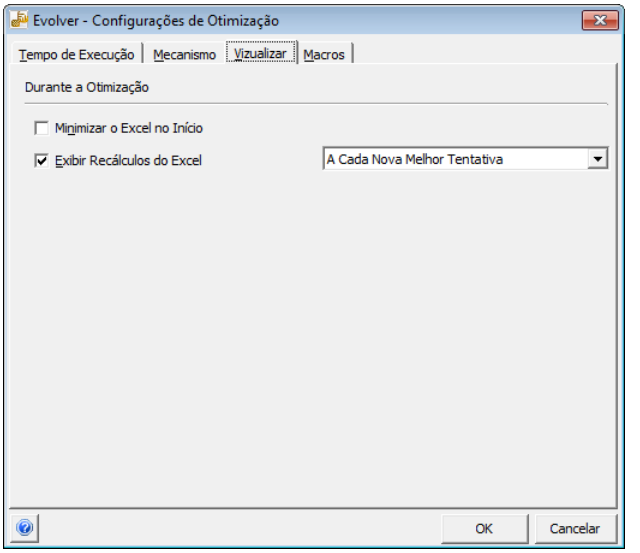
Na caixa de diálogo Configurações de otimização, você pode selecionar qualquer combinação das condições de parada ou nenhuma. Se você selecionar mais de uma condição de parada, o Evolver irá parar quando uma delas ocorrer. Se você não selecionar nenhuma condição de parada, o Evolver rodará até ser interrompido manualmente por um clique no botão "parar" da barra de ferramentas; ele também parará após ter experimentado todas as soluções possíveis.

Tentativas	Duração	Progresso	Fórmula é verdadeira
Esta opção define o número de "tentativas" que o Evolver deve fazer. Em cada tentativa, o Evolver avalia um conjunto completo de variáveis ou uma única solução possível para o problema.	O Evolver pára após o intervalo de tempo especificado ter se esgotado. Esse número pode ser uma fração (4,25).	Esta condição de parada é a mais usada, porque acompanha o grau de melhoria e deixa o Evolver rodar até ele começar a diminuir. Por exemplo, o Evolver poderá parar se tiverem sido feitas 20.000 tentativas e o valor da célula-alvo não tiver melhorado mais de 0,01%.	O Evolver pára se a fórmula de Excel fornecida retornar VERDADEIRO no recálculo de um modelo.

- **Se quiser deixar o Evolver rodar indefinidamente, desative todas as condições de parada.**

Opções de exibição

Enquanto o Evolver roda, uma série de opções está disponível na guia Visualizar, para que você possa especificar o que deve ser exibido na tela.



As opções de Mostrar recálculos do Excel são:

A cada tentativa	A cada nova melhor tentativa
Esta opção refaz a tela após cada cálculo, possibilitando ver como o Evolver ajusta as variáveis e calcula o output. Sugerimos usar esta opção enquanto você ainda estiver aprendendo a usar o Evolver, e também cada vez que usar o Evolver em um novo modelo, para verificar se o modelo está sendo calculado corretamente.	Esta opção refaz a tela cada vez que o Evolver gera uma nova resposta melhor, o que permite que você veja a melhor solução atual a qualquer momento durante a otimização.

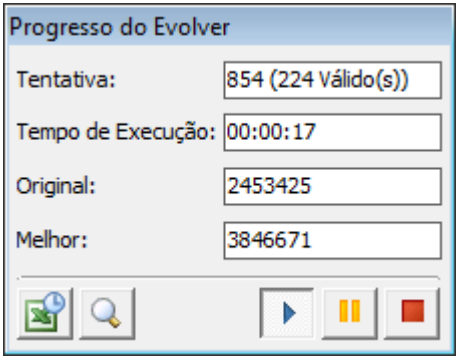
- **Selecione "A cada tentativa"**

Execução da otimização

Agora, só falta otimizar o modelo para maximizar o lucro total e obedecer as diretrizes de limite de produção. Para fazer isso:

1) *Clique em* **OK** *para sair da caixa de diálogo* **Configurações de otimização.**

2) *Clique no ícone* **Iniciar otimização.**



Durante a execução, a janela **Progresso** indica o seguinte: 1) a melhor solução encontrada até o momento; 2) o valor original da célula-alvo no início da otimização; 3) o número de tentativas executadas no modelo e o número de tentativas válidas entre as que foram executadas, isto é, que atenderam todas as restrições; 4) o tempo decorrido da otimização.

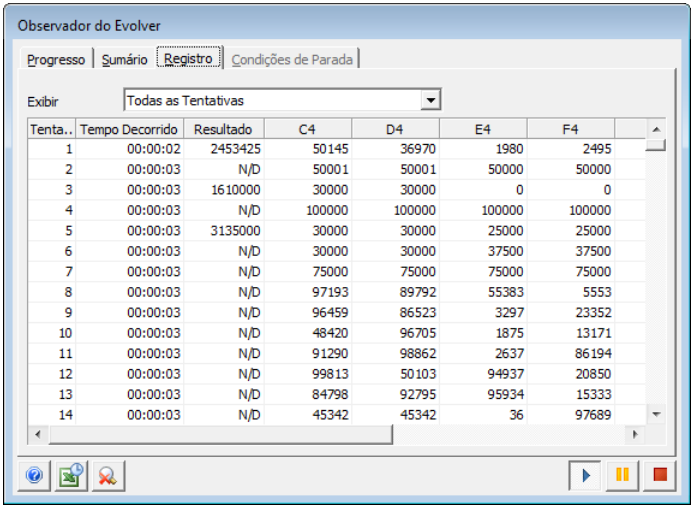
A qualquer momento durante a execução, você pode clicar no ícone **Opções de atualizações do Excel** para atualizar instantaneamente a tela a cada tentativa.

Observador do Evolver

O Evolver também pode exibir um registro contínuo das simulações executadas de cada solução tentada. Esse registro é exibido no Observador do Evolver enquanto o Evolver está sendo executado. Para ver o registro contínuo das simulações executadas:

1) *Clique no ícone do* **Observador** *(lente de aumento) na janela* **Progresso** *para exibir o Observador do Evolver.*

2) *Selecione a guia* **Registro**.



Tenta..	Tempo Decorrido	Resultado	C4	D4	E4	F4
1	00:00:02	2453425	50145	36970	1980	2495
2	00:00:03	N/D	50001	50001	50000	50000
3	00:00:03	1610000	30000	30000	0	0
4	00:00:03	N/D	100000	100000	100000	100000
5	00:00:03	3135000	30000	30000	25000	25000
6	00:00:03	N/D	30000	30000	37500	37500
7	00:00:03	N/D	75000	75000	75000	75000
8	00:00:03	N/D	97193	89792	55383	5553
9	00:00:03	N/D	96459	86523	3297	23352
10	00:00:03	N/D	48420	96705	1875	13171
11	00:00:03	N/D	91290	98862	2637	86194
12	00:00:03	N/D	99813	50103	94937	20850
13	00:00:03	N/D	84798	92795	95934	15333
14	00:00:03	N/D	45342	45342	36	97689

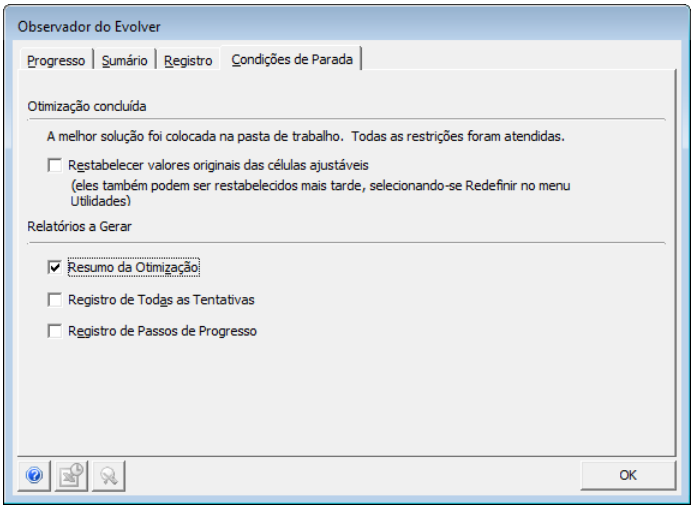
Neste relatório, são apresentados os resultados da simulação de cada solução tentada. A coluna *Resultado* contém o valor da célula-alvo que você está tentando maximizar ou minimizar, por tentativa; neste caso, o Lucro Total em $I$11. As colunas de *C4* a *G4* contêm os valores usados nas células ajustáveis.

Como parar a otimização

Como a otimização está rodando sem ter sido feita nenhuma seleção na guia Tempo de Execução ou na caixa de diálogo Configurações de otimização, precisamos interromper a otimização, o que pode ser feito da seguinte forma:

1) ***Clicando no ícone* Parar *do Observador do Evolver ou nas janelas de progresso*.**

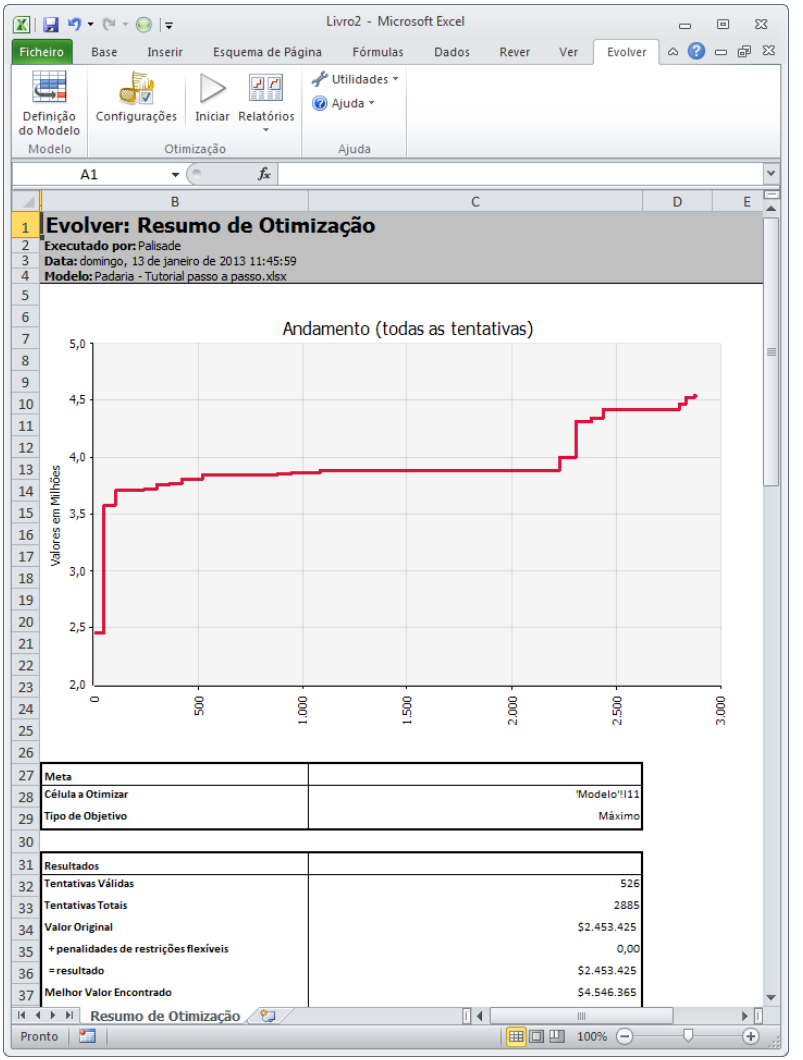
Quando o processo do Evolver pára, é exibida a guia **Condições de parada**, onde podem ser feitas as seguintes escolhas:


Observador do Evolver
Progresso
Sumário
Registro
Condições de Parada
Otimização concluída
A melhor solução foi colocada na pasta de trabalho. Todas as restrições foram atendidas.
Restabelecer valores originais das células ajustáveis
(eles também podem ser restabelecidos mais tarde, selecionando-se Redefinir no menu Utilidades)
Relatórios a Gerar
Resumo da Otimização
Registro de Todas as Tentativas
Registro de Passos de Progresso
OK

Estas mesmas opções também aparecem automaticamente sempre que as condições de parada definidas na caixa de diálogo **Configurações de otimização** do Evolver são atendidas.

Relatório resumido

O Evolver pode criar um relatório resumido da otimização, com informações como data e hora da execução, configurações usadas, valor calculado da célula-alvo, e o valor original e o melhor valor para cada célula ajustável.



Este relatório é útil para comparar os resultados de otimizações sucessivas.

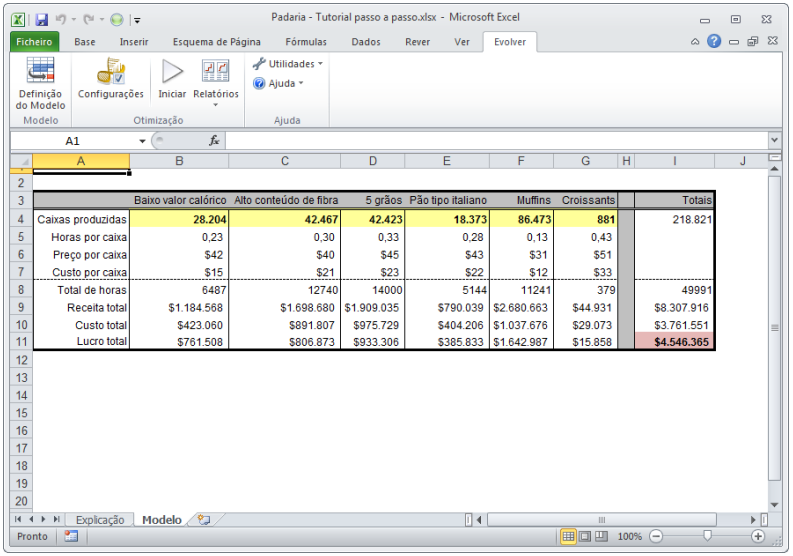
Colocação dos resultados no modelo

Para colocar na planilha a nova combinação otimizada dos níveis de produção de cada um dos seis tipos de pães da padaria:

1) ***Assegure-se de que a opção "Restabelecer valores originais das células ajustáveis" não esteja selecionada quando as Opções de parada estiverem sido exibidas.***

2) ***Clique no botão "OK".***

Será apresentada a planilha **Padaria - Tutorial passo a passo.xlsx** com todos os novos valores de variáveis que produzem a melhor solução.



	Baixo valor calórico	Alto conteúdo de fibra	5 grãos	Pão tipo italiano	Muffins	Croissants	Totais
Caixas produzidas	28.204	42.467	42.423	18.373	86.473	881	218.821
Horas por caixa	0,23	0,30	0,33	0,28	0,13	0,43	
Preço por caixa	$42	$40	$45	$43	$31	$51	
Custo por caixa	$15	$21	$23	$22	$12	$33	
Total de horas	6487	12740	14000	5144	11241	379	49991
Receita total	$1.184.568	$1.698.680	$1.909.035	$790.039	$2.680.663	$44.931	$8.307.916
Custo total	$423.060	$891.807	$975.729	$404.206	$1.037.676	$29.073	$3.761.551
Lucro total	$761.508	$806.873	$933.306	$385.833	$1.642.987	$15.858	$4.546.365

NOTA IMPORTANTE: Embora neste exemplo o* Evolver *tenha encontrado uma solução que produziu um lucro total de 4.686.420, o resultado que você obterá poderá ser mais alto ou mais baixo do que esse. Essas diferenças se devem a uma distinção importante entre o Evolver e os demais algoritmos de solução de problemas, a saber: o algoritmo genético e os mecanismos do OptQuest do Evolver possibilitam que ele solucione uma maior variedade de problemas e encontre melhores soluções.

Ao salvar uma planilha após ela ser executada pelo Evolver (mesmo se você restabelecer os valores originais da planilha após a execução do Evolver), todas as configurações das caixas de diálogo do Evolver são salvas com a planilha específica. Na próxima vez em que a planilha for aberta, todas as configurações mais recentes do Evolver serão automaticamente carregadas. As configurações do Evolver são preenchidas automaticamente em todas as demais planilhas de exemplo, deixando-as prontas para as execuções do Evolver.

NOTA: Se quiser dar uma olhada no modelo Padaria com todas as configurações preenchidas automaticamente, abra o arquivo de exemplo do modelo Padaria.xlsx (ou xls).

Guia de Referência do Evolver

Comando Definição do modelo 47

Intervalos de células ajustáveis 49
Grupos de células ajustáveis 52
Método de solução "agendamento" 60
Número de blocos de tempo e células com restrições 62
Restrições 63
Adicionar – Como inserir restrições 63
Tipo de restrição 63
Precisão da restrição 64
Estilo de entrada 64
Restrições flexíveis 64

Comando Configurações de otimização 67

Comando Configurações de otimização – Guia Tempo de Execução 67
Comando Configurações – guia Mecanismo 70
Modo de otimização 70
Otimizar usando 71
Configurações de algoritmo genético 71
Operadores 73
Comando Configurações de otimização – Guia Visualizar 76
Comando Configurações de otimização – Guia Macros 77

Comando Iniciar otimização 79

Comandos Utilidades 81

Comando Configurações da aplicação 81
Comando Solver de restrições 82

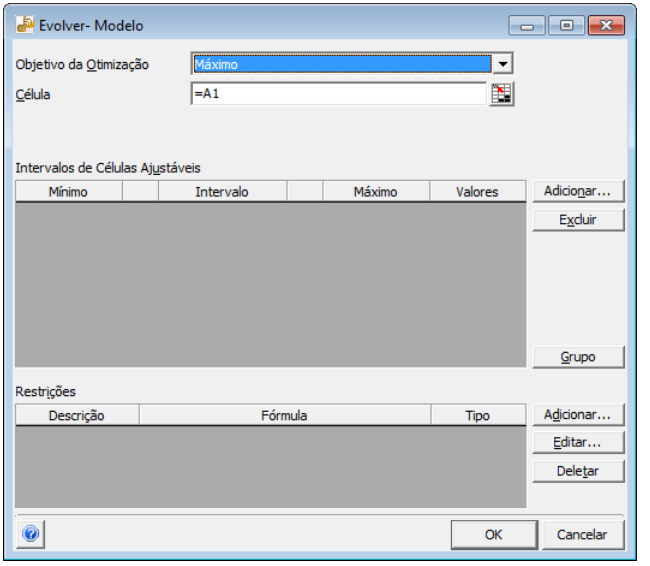
Observador do Evolver 85

Observador do Evolver – Guia Progresso 86
Observador do Evolver – Guia Sumário 88
Observador do Evolver – Guia Registro 89
Observador do Evolver – Guia População 90
Observador do Evolver – Guia Diversidade 91
Observador do Evolver – Guia Condições de parada 92

Comando Definição do modelo

Define a meta, as células ajustáveis e as restrições de um modelo

Selecionar o comando Definição do modelo do Evolver (ou clicar no ícone Modelo, na barra de ferramentas do Evolver) faz com que seja exibida a caixa de diálogo Modelo.



Caixa de diálogo Modelo do Evolver

A caixa de diálogo Modelo do Evolver é usada para especificar ou descrever um problema de otimização para o Evolver. Essa caixa de diálogo começa vazia em cada nova pasta de trabalho do Excel, mas salva as informações nela contidas junto com cada pasta de trabalho. Isso significa que quando a planilha é aberta novamente, ela estará preenchida da mesma forma que antes. Cada componente da caixa de diálogo é descrito nesta seção.

As opções da caixa de diálogo Modelo são:

- **Objetivo da otimização.** A opção *Objetivo da otimização* define o tipo de resposta que o Evolver deve procurar. Se for selecionado *Mínimo,* o Evolver procurará valores de variáveis que produzem o menor valor possível na célula-alvo (até -1e300). Se for selecionado *Máximo,* o Evolver procurará valores de variáveis que produzem o maior valor possível na célula-alvo (até +1e300).

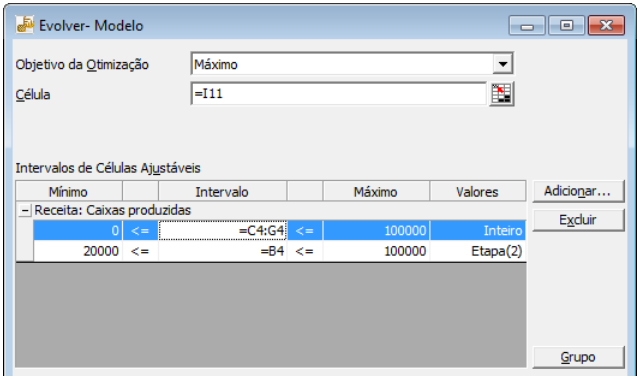
  Se for selecionado *Valor alvo,* o Evolver procurará valores de variáveis que produzem o valor mais próximo possível do valor especificado pelo usuário. Quando o Evolver encontra uma solução que produz esse resultado, ele pára automaticamente. Por exemplo, se você especificar que o Evolver deve encontrar o resultado mais próximo de 14, ele poderá encontrar cenários que resultem em um valor como 13,7 ou 14,5. Observe que 13,7 é mais próximo de 14 do que 14,5. Para o Evolver, não importa se o valor é maior ou menos do que o valor especificado, importa apenas qual é o valor mais próximo.

- **Célula.** A célula ou *célula-alvo* contém o output do seu modelo. Será gerado um valor para esta célula em cada "solução-teste" gerada pelo Evolver (isto é, cada combinação de valores possíveis de células ajustáveis). A célula-alvo deve conter uma fórmula que depende (diretamente ou por meio de uma série de cálculos) das células ajustáveis. Esta fórmula pode ser criada com base em fórmulas padrão do Excel, como SOMA(), ou de funções de macro VBA definidas pelo usuário. Ao usar funções de macro VBA, você pode especificar que o Evolver avalie os modelos muito complexos.

  Ao procurar uma solução, o Evolver usa o valor da célula-alvo como classificação ou "função objetivo" para avaliar a adequação de cada cenário possível. Ao construir o seu modelo, é necessário que a célula-alvo represente o grau de adequação de cada cenário específico, para que ao calcular as possibilidades, o Evolver possa medir com exatidão como está progredindo na busca da melhor solução.

Intervalos de células ajustáveis

A tabela *Intervalos de células ajustáveis* apresenta todos os intervalos que contêm células ou valores que o Evolver pode ajustar, assim como a descrição de cada célula, da forma que você forneceu. Cada conjunto de células ajustáveis é apresentado em uma linha horizontal. Um ou mais intervalos de células ajustáveis podem ser incluídos em um **Grupo de células ajustáveis**. Todos os intervalos de células de um grupo de células ajustáveis empregam o mesmo método de solução; se for usado o algoritmo genético, eles também terão a mesma taxa de crossover, a mesma taxa de mutação e os mesmo operadores.



Como as células ajustáveis contêm as variáveis do problema, você precisa definir pelo menos um grupo de células ajustáveis para poder usar o Evolver. A maioria dos problemas é descrita com apenas um grupo de células ajustáveis, mas problemas mais complexos podem exigir a solução de diversos blocos de variáveis por diferentes métodos de solução simultaneamente. Essa arquitetura exclusiva permite construir com facilidade a estrutura de problemas extremamente complexos, a partir de vários grupos de células ajustáveis.

As seguintes opções estão disponíveis para a entrada de intervalos de células ajustáveis:

- **Adicionar**. Você pode adicionar novas células ajustáveis, clicando no botão "Adicionar" ao lado da caixa de listagem Células ajustáveis. Selecione a célula ou intervalo de células a ser adicionado; aparecerá uma nova linha na tabela **Intervalos de células ajustáveis**. Na tabela, você pode inserir um valor **Mínimo** e um valor **Máximo** para as células do intervalo, e o tipo dos valores a serem testados: valores **inteiros** em todo o intervalo,

valores **discretos** com um tamanho de etapa definido ou **qualquer** valor.

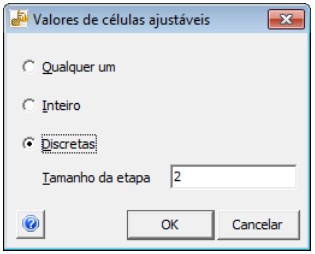
- **Mínimo** e **Máximo.** Após especificar o local das células ajustáveis, defina as entradas de Mínimo e Máximo para especificar o intervalo aceitável para cada célula ajustável. Por definição padrão, cada célula ajustável assume como valor um número real (ponto flutuante de precisão dupla) entre –infinito e +infinito.

  As configurações de intervalo são restrições que são rigorosamente impostas. O Evolver não permite que nenhuma variável assuma um valor fora do intervalo definido. Sugerimos que, sempre que possível, você defina intervalos mais específicos para as variáveis, a fim de otimizar o desempenho do Evolver. Por exemplo, faça isso se você souber que o número não pode ser negativo, ou que o Evolver deve tentar usar apenas valores entre 50 e 70 para determinada variável.

- **Intervalo.** A referência da célula ou células a serem ajustadas é especificada no campo *Intervalo*. Essa referência pode ser especificada selecionando-se a região da planilha com o mouse, ou inserindo um nome de intervalo ou, ainda, digitando uma referência válida no Excel, como Planilha1!A1:B8. O campo **Intervalo** pode ser usado com todos os métodos de solução. Contudo, para os métodos de receita e orçamento, as opções *Mínimo, Máximo* e *Valores* podem ser acrescentadas, a fim de permitir a inserção de um intervalo de células ajustáveis.

  NOTA: Ao definir intervalos menores para as variáveis, você restringe o âmbito da busca e acelera a convergência do* Evolver *para encontrar uma solução. Mas tenha cuidado para não restringir demais os intervalos de variáveis, para não impedir que o* Evolver *encontre as melhores soluções possíveis.

- **Valores.** O item Valores permite especificar se o Evolver deve tratar todas as variáveis de um intervalo específico como números inteiros (ex.: 20, 21, 22), como números reais discretos (ex.: 20, 20,5, 21, 21,5, 22, se o tamanho da etapa for 0,5), ou todos como números reais de um determinado intervalo. Essa opção só pode ser usada com os métodos de solução "receita" e "orçamento". A definição padrão é tratar para aceitar todos os números reais do intervalo especificado.



Por exemplo, se o intervalo de valores de 1 a 4 for especificado como:

- "Qualquer" significa que todos os números reais de 1 a 4 serão incluídos.
- "Inteiros" significa que os valores 1, 2, 3 e 4 serão incluídos.
- "Discreto" com "tamanho da etapa" de 0,5 significa que 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5 e 4 serão incluídos.

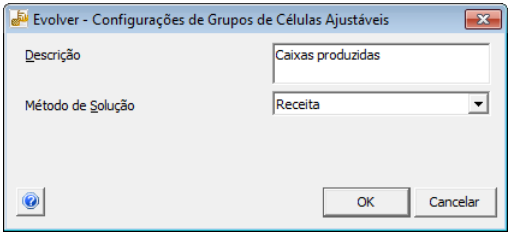
A definição padrão é incluir todos os números reais do intervalo especificado. A opção "Valor" só pode ser usada com os métodos de solução "receita" e "orçamento".

O uso de células ajustáveis "discretas" reduz substancialmente o número de soluções possíveis, em comparação às células ajustáveis para as quais é permitido "qualquer" valor; isso geralmente produz otimizações mais rápidas.

Grupos de células ajustáveis

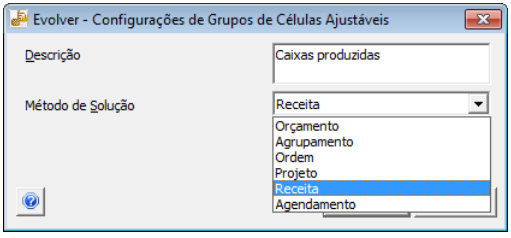
Cada grupo de células ajustáveis pode conter vários intervalos de células ajustáveis. Isso permite criar uma "hierarquia" de grupos de células ajustáveis relacionadas. Dentro de cada grupo, cada intervalo de célula pode ter sua própria restrição de mínimo e máximo.

Todos os intervalos de células de um grupo de células ajustáveis utilizam o mesmo **método de solução**. Isso é definido na caixa de diálogo **Configurações de grupos de células ajustáveis**. Essa caixa de diálogo é acessada por meio do botão **Grupo**, ao lado da tabela **Intervalos de células ajustáveis**. Você pode criar um novo Grupo ao qual pode adicionar intervalos de células ajustáveis, ou pode editar as configurações de um grupo existente.



As opções da caixa de diálogo Configurações de grupo de células ajustáveis são:

- **Descrição.** Descreve o grupo de intervalos de células ajustáveis para uso em caixas de diálogos e relatórios.
- **Método de solução.** Seleciona o método de solução a ser usado para cada intervalo de células ajustáveis do grupo.



Ao selecionar um intervalo de células a serem ajustadas pelo Evolver, você também pode especificar o "método de solução" que deseja aplicar ao ajustar as células. Cada método de solução manipula os valores das variáveis de uma forma diferente.

O método de solução "receita", por exemplo, trata cada variável selecionada como um ingrediente de uma receita; o valor de cada variável pode ser alterado independentemente dos valores das outras. O método de solução "ordem", por sua vez, troca os valores das

variáveis das células ajustáveis, mudando a ordem dos valores originais.

O Evolver tem seis métodos de solução. Três desses métodos (receita, ordem e agrupamento) usam algoritmos totalmente distintos. Os outros três métodos são ***descendentes*** dos primeiros três, mas usam restrições adicionais.

A próxima seção descreve a função de cada método de solução. Para entender melhor como cada método de solução é usado, sugerimos examinar os arquivos de exemplo fornecidos com o software.

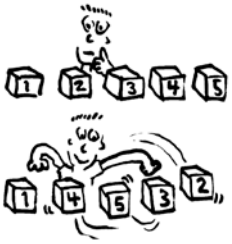
Método de solução "receita"

O método de solução "receita" é o método de solução mais simples e mais usado. Use esse método sempre que o conjunto de variáveis a serem ajustadas possam ser variadas independentemente umas das outras. Pense em cada variável como a quantidade de determinado ingrediente de um bolo; ao usar o método "receita" você está instruindo o Evolver a gerar números para essas variáveis, a fim de encontrar a melhor combinação de ingredientes. A única restrição imposta nas variáveis da receita é definir o intervalo (o valor mais alto e o mais baixo) dentro do qual os valores devem se enquadrar. Defina esses valores nos campos *Mín* e *Máx* da caixa de diálogo Células ajustáveis (ex.: 1 a 100), e indique se o Evolver deve procurar apenas números inteiros (1; 2; 7), valores discretos em todo o intervalo com tamanho de passo especificado (1, 1,5, 2, 2,5, 3), ou números reais (1,4230024; 63,72442).

A seguir, apresentamos exemplos de um conjunto de valores de variáveis da forma como podem aparecer em uma planilha antes do processamento pelo Evolver, e dois novos cenários que poderiam ser apresentados depois de usar o método de solução "receita".

Conjunto original de valores das variáveis	**Conjunto de possíveis valores de receita**	**Outro conjunto de possíveis valores de receita**
23,472	15,344	37,452
145	101	190
9	32,44	7,073
65.664	14.021	93.572

Método de solução "ordem"



O método de solução "ordem" é o segundo método mais usado depois de "receita". Ordem consiste na permutação de uma lista de itens em que você tenta encontrar a melhor forma de organizar determinado conjunto de valores. Diferentemente dos métodos de solução "receita" e "orçamento", que instruem o Evolver a gerar valores para as variáveis escolhidas, este método de solução instrui o Evolver a usar os valores já existentes no modelo.

A ordem pode representar a ordem de execução de um conjunto de tarefas. Por exemplo, digamos que você queira saber em que ordem deve realizar cinco tarefas, numeradas como 1, 2, 3, 4 e 5. O método de solução "ordem" embaralha esses valores; assim, um dos cenários poderia ser 3,5,2,4,1. Como o Evolver simplesmente experimenta com os valores de variáveis da sua planilha inicial, não é necessário definir o intervalo mínimo-máximo das células ajustáveis ao se usar o método "ordem".

A seguir, apresentamos exemplos de um conjunto de valores de variáveis da forma como podem aparecer em uma planilha antes do processamento pelo Evolver, e dois novos cenários que poderiam ser apresentados depois de usar o método de solução "ordem".

Conjunto original de valores das variáveis	**Conjunto de possíveis valores de ordem**	**Outro conjunto de possíveis valores de ordem**
23,472	145	65.664
145	23,472	9
9	65.664	145
65.664	9	23,472

Método de solução "agrupamento"

O método de solução "agrupamento" deve ser usado para resolver problemas que apresentam vários itens que precisam ser agrupados em conjuntos. Por definição padrão, o número de grupos criados pelo RISKOptimizer é igual ao número de valores únicos presentes nas células ajustáveis no início da otimização (essa definição padrão pode ser modificada no campo IDs de Grupo, conforme discutido acima).

Por exemplo, vamos supor que estamos usando um intervalo de 50 células que contêm apenas os valores 2, 3,5 e 17. Ao selecionar as 50 células e ajustar os valores com o método de solução "agrupamento", o Evolver colocará cada uma das 50 células em um dos três grupos: 2, 3,5 ou 17. Todos os grupos são representados por, no mínimo, uma célula ajustável; é como se você jogasse cada uma das 50 variáveis em diferentes caixas e verificasse se há pelo menos uma variável em cada caixa. Outro exemplo seria: em um sistema de negociação de ações, designar os valores 1, 0 e -1 às posição "comprar", "vender", "reter". Da mesma forma que com o método de solução "ordem", neste caso também o Evolver organiza os valores já existentes, portanto não há necessidade de definir o intervalo mín-máx nem a opção de números inteiros.

NOTA: Ao usar o método de solução "agrupamento", não deixe nenhuma célula em branco, a menos que queira que 0,0 seja considerado um dos grupos.

Talvez você note que poderia ser feita uma aproximação do método de solução "agrupamento", usando-se o método "receita" com a opção de números inteiros selecionada e os intervalos definidos como de 1 a 3 (ou da forma correspondente ao número de grupos existentes). A diferença é a forma como a pesquisa é feita no método de receita e no agrupamento de células ajustáveis. Ao tentar solucionar um problema de agrupamento, o algoritmo se concentra muito mais nos valores de todas as variáveis, porque ele pode trocar um conjunto de variáveis de um grupo por um conjunto de variáveis de outro grupo.

A seguir, apresentamos exemplos de um conjunto de valores de variáveis da forma como poderiam aparecer em uma planilha antes do processamento pelo Evolver, e dois novos cenários que poderiam ser apresentados depois de usar o método de solução "agrupamento".

Conjunto original de valores das variáveis	Conjunto de possíveis valores de agrupamento	Outro conjunto de possíveis valores de agrupamento
6	6	8
7	6	7
8	8	6
8	7	7

Ao usar o método de solução Agrupamento, há duas definições adicionais na caixa de diálogo Configurações de grupos de células ajustáveis:

- **IDs de grupo (opcional)**. Esta definição permite ao usuário especificar um intervalo que contenha IDs de grupo numéricas. Normalmente o Evolver lê as IDs de grupos do intervalo ajustável. Por exemplo, se o intervalo ajustável for A1:D1 e ele contiver números 1, 1, 3, 2, o Evolver usará 1, 2 e 3 como IDs de grupo. Entretanto, pode haver mais grupos do que células ajustáveis; por exemplo, você pode querer atribuir itens representados pelas células A1:D1 aos grupos numerados de 1 a 5. Nesse caso, a definição das IDs de grupo permitirá que você especifique um intervalo que contenha cinco células com números de 1 a 5 para ser usado como IDs de grupos durante a otimização.
- **Todos os grupos devem ser usados.** Se esta opção estiver assinalada, cada solução terá membros de todos os grupos. Por exemplo: se as células ajustáveis forem A1:D1 e as IDs de grupo forem 1, 2 e 3, o Evolver não experimentará uma solução em que apenas 1 esteja designado às quatro células (sem 2 e 3). Por outro lado, se a caixa de seleção não estiver marcada, essa solução poderá ser experimentada.

Método de solução "orçamento"

O método "orçamento" é semelhante a "receita", mas nele, o valor total das variáveis precisa ser um número específico. Esse número corresponde ao valor total das variáveis no momento em que a otimização foi iniciada.

Suponhamos, por exemplo, que você queria saber qual é a melhor maneira de distribuir um orçamento anual entre vários departamentos. O método de solução "orçamento" pega o total dos valores atuais dos departamentos e usa a soma desses valores como orçamento total a ser distribuído da melhor forma possível. A seguir, apresentamos exemplos de dois possíveis cenários após usar o método de solução "orçamento".

Conjunto original de valores de orçamento	Conjunto de possíveis valores de orçamento	Outro conjunto de possíveis valores de orçamento
200	93,1	223,5
3,5	30	0
10	100	-67
10	0,4	67

Muitos valores são experimentados, mas a soma de todos eles é sempre 223,5.

Em vez de usar o método de solução "orçamento", poderia ser usado o método de solução "receita", com uma restrição especificando um valor total fixo das células ajustáveis. Este método funciona bem quando é usado o mecanismo de otimização OptQuest. Entretanto, com o algoritmo genético o método "orçamento" é mais eficiente.

Método de solução "projeto"

O método de solução "projeto" é semelhante ao método "ordem", exceto pelo fato de que certos itens (tarefas) precisam preceder outros na execução. O método de solução "projeto" pode ser usado no gerenciamento de projetos, para reorganizar a ordem em que as tarefas são realizadas; contudo, a ordem sempre precisa obedecer as restrições de precedência.

Um problema modelado com o método de solução "projeto" é muito mais fácil de trabalhar e entender se as células ajustáveis contiverem a ordem das tarefas em uma mesma coluna, em vez de em uma linha. Isso ocorre porque o método de solução prevê que as células de tarefas precedentes serão organizadas na vertical, e não na horizontal; por isso, é mais fácil examinar a planilha se as células ajustáveis forem colocadas na vertical.

Após especificar o local das células ajustáveis, será necessário especificar o local das células de tarefas precedentes, na seção *Tarefas precedentes* da caixa de diálogo. Na tabela abaixo, as células descrevem as tarefas que necessitam ser precedidas por outras tarefas específicas. O método de solução usa esta tabela para reorganizar a ordem das variáveis e criar um cenário que obedeça as restrições de precedência. O intervalo de tarefas precedentes deve conter uma linha para cada tarefa indicada nas células ajustáveis. Começando na primeira coluna do intervalo de tarefas precedentes, o número identificador de cada tarefa da qual a tarefa da linha depende deve ser colocado em colunas separadas.

Este elemento	deve aparecer após estas...		
1	6	9	
2	1	6	3
3	1		
4	9	12	
5			
6	9	1	2
7	3	4	
8			
9	12	3	1

Exemplo de como dispor as tarefas precedentes ao usar o método de solução "projeto".

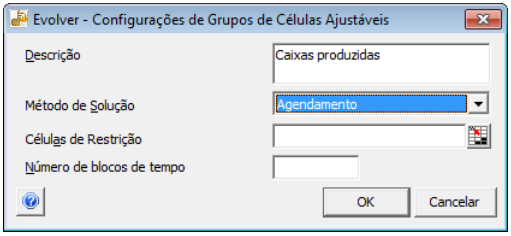
O intervalo de tarefas precedentes deve ser especificado como ***n*** linhas por ***m*** colunas, sendo que ***n*** é o número de tarefas do projeto (célula ajustáveis) e ***m*** é o maior número de tarefas precedentes de qualquer tarefa específica.

A seguir, apresentamos exemplos de um conjunto de valores de variáveis da forma como poderiam aparecer em uma planilha antes do processamento pelo Evolver, e dois novos cenários que poderiam ser apresentados depois de usar o método de solução "projeto", com a restrição de que 3 deve sempre vir depois de 1, e 4 deve sempre vir depois de 2.

Conjunto original de valores das variáveis	Conjunto de possíveis valores de projeto	Outro conjunto de possíveis valores de projeto
1	1	1
2	3	2
3	2	4
4	4	3

Método de solução "agendamento"

O método "agendamento" é semelhante ao método "agrupamento"; trata-se de designar tarefas a intervalos de tempo. Pressupõe-se que cada tem a mesma duração, da mesma forma como cada aula escolar tem a mesma duração. Ao contrário do agrupamento, no entanto, ao se usar o método de solução "agendamento", a caixa de diálogo Grupo de células ajustáveis permite especificar diretamente o número de blocos de tempo (ou grupos) a serem usados. Ao selecionar o método de solução "agendamento", observe que várias opções relacionadas aparecem na parte inferior da caixa de diálogo.



Você pode especificar um intervalo no qual são definidas restrições relacionadas ao agendamento. Esse intervalo pode ser de qualquer comprimento, mas precisa ter exatamente três colunas de largura. São aceitos oito tipos de restrições:

1) *(com) As tarefas na primeira e na terceira coluna precisam ocorrer no mesmo bloco de tempo.*

2) *(não ao mesmo tempo) As tarefas na primeira e na terceira coluna não podem ocorrer no mesmo bloco de tempo.*

3) *(antes) A tarefa na primeira coluna precisa ocorrer antes da tarefa na terceira coluna.*

4) *(em) A tarefa na primeira coluna precisa ocorrer antes da tarefa na terceira coluna.*

5) *(não após) A tarefa na primeira coluna precisa ocorrer ao mesmo tempo ou antes da tarefa na terceira coluna.*

6) *(não antes) A tarefa na primeira coluna precisa ocorrer ao mesmo tempo ou depois da tarefa na terceira coluna.*

7) *(não em) A tarefa na primeira coluna não pode ocorrer durante o bloco de tempo da terceira coluna.*

8) *(após) A tarefa na primeira coluna precisa ocorrer depois da tarefa na terceira coluna.*

Você pode inserir como restrição um código numérico (de 1 a 8) ou a descrição por extenso (*após, não em,* etc.). (Nota: No que se refere à inserção de restrições, as versões do RiskOptimizer em todos os idiomas reconhecem a descrição em inglês e na forma traduzida. Todas as restrições especificadas no problema serão atendidas. Para criar restrições, procure um espaço em branco na planilha e crie uma tabela; nessa tabela, as colunas da esquerda e da direita representam tarefas e a coluna do meio representa os tipos de restrições. Um número entre 1 e 8 representa o tipo de restrição mencionada acima. Antes de começar a otimização, é necessário que as células do intervalo de restrição contenham os dados da restrição.

Esta tarefa	**Restrição**	**Esta tarefa**
5	4	2
12	2	8
2	3	1
7	1	5
6	2	4
9	3	1

A seguir, apresentamos exemplos de um conjunto de valores de variáveis da forma como poderiam aparecer em uma planilha antes do processamento pelo Evolver, e dois novos cenários que poderiam ser apresentados depois de usar o método de solução "agendamento".

Conjunto original de valores das variáveis	Conjunto de possíveis valores de agendamento	Outro conjunto de possíveis valores de agendamento
1	1	1
2	1	3
3	3	1
1	1	2
2	2	2
3	3	2

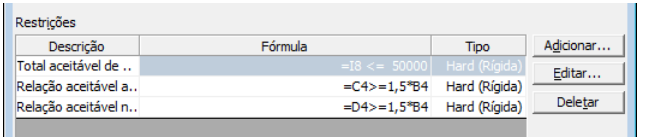
NOTA: Ao selecionar o método de solução "agendamento", sempre são usados números inteiros, a partir de 1 (1,2,3...), independentemente dos valores originais contidos nas células ajustáveis. Esses valores representam os horários, e o valor máximo possível é igual ao valor especificado no campo Número de blocos de tempo.

Número de blocos de tempo e células com restrições

Para obter mais informações sobre estas opções, consulte o método *Agendamento*, na seção *Métodos de solução* deste capítulo.

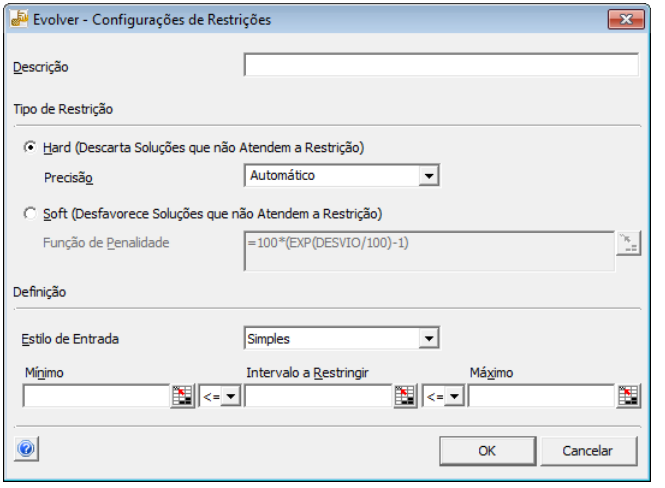
Restrições

O Evolver permite definir restrições ou condições que precisam ser satisfeitas para que a solução seja válida. As restrições inseridas são exibidas na tabela **Restrições,** na caixa de diálogo Definição do modelo.



Adicionar – Como inserir restrições

Clicar no botão *Adicionar*, ao lado da tabela Restrições, abre a caixa de diálogo **Configurações de restrições**, na qual as restrições são inseridas Nesta caixa de diálogo, você pode inserir o tipo de restrição desejada, a descrição correspondente, o tipo e a definição.



Tipo de restrição

Podem ser definidos dois tipos de restrições no Evolver:

- **Hard** (rígidas) são condições que precisam obrigatoriamente ser atendidas para que a solução seja válida (ex.: uma restrição rígida de iteração poderia ser C10<=A4; nesse caso, se a solução gerar um valor maior que o da célula A4 para a célula C10, a solução será descartada).
- **Soft** (flexíveis) são condições que devem ser atendidas tanto quanto possível, mas que aceitamos trocar por uma grande melhoria no resultado da célula-alvo (ex.: uma restrição flexível poderia ser C10<100; mas C10 poderia ser maior que 100 se, quando isso ocorresse, o valor calculado da célula-alvo fosse reduzido de acordo com a função de penalidade que você inseriu).

Precisão da restrição

A **Precisão** da restrição se refere às infrações de restrições que são tão pequenas que o Evolver poderá ignorá-las e considera a solução como válida, apesar dessas pequenas infrações. Essa pequena imprecisão no processamento das restrições decorre do fato de que os computadores somente podem processar operações matemáticas com precisão finita.

Recomendamos deixar o campo **Precisão** como Automática; nesse caso, o Resumo de otimização informará o número da precisão efetiva; essa é a infração máxima da restrição que será desconsiderada. Ou, pode-se digitar um número específico no campo Precisão.

Estilo de entrada

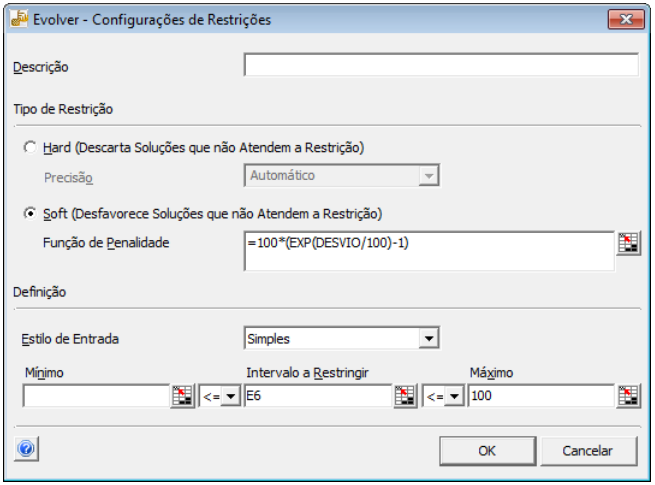
As restrições podem ser definidas em dois estilos de entrada: Simples e Fórmula.

- O formato simples permite inserir restrições usando relações como: <, <=, >, >= ou =. Uma restrição simples típica seria *0<valor de A1<10*, onde A1 é inserido na caixa *Intervalo de células*, 0 é inserido na caixa *Mín* e 10 é inserido na caixa *Máx*. O operador desejado é selecionado nas caixas da lista suspensa. Ao usar uma restrição de formato simples, você pode inserir apenas o valor Mín., apenas o Máx. ou ambos.
- Uma restrição de **fórmula**, por outro lado, permite inserir qualquer fórmula válida do Excel como restrição. Por exemplo, é possível inserir a seguinte fórmula "=SE(A1>100, B1>0, B1<0)". Nessa restrição, a exigência de B1 ser positivo ou negativo dependerá do valor da célula A1. Como alternativa, a fórmula pode ser digitada em uma célula; se a célula for C1, pode-se digitar "=C1" no campo Fórmula da caixa Configurações de restrições.

Em geral, digitar restrições no formato simples ajuda o Evolver a encontrar a melhor solução com mais rapidez. A fórmula mencionada acima poderia ser digitada na célula D1 como "=SE(A1>100, B1, -B1)" Em seguida, pode-se digitar uma restrição de formato simples que exija que D1>0.

Restrições flexíveis

Restrições flexíveis são condições que, de preferência, devem ser atendidas da máxima maneira possível, mas que podem ser ajustadas em troca de uma melhoria substancial no resultado da célula-alvo (valor da função objetivo). Quando uma restrição flexível não é atendida, ela produz uma mudança no resultado da célula-alvo no sentido oposto ao valor ótimo. A quantidade de mudança produzida por uma restrição flexível não atendida é calculada por meio de uma função de penalidade que é inserida ao se especificar a restrição flexível.

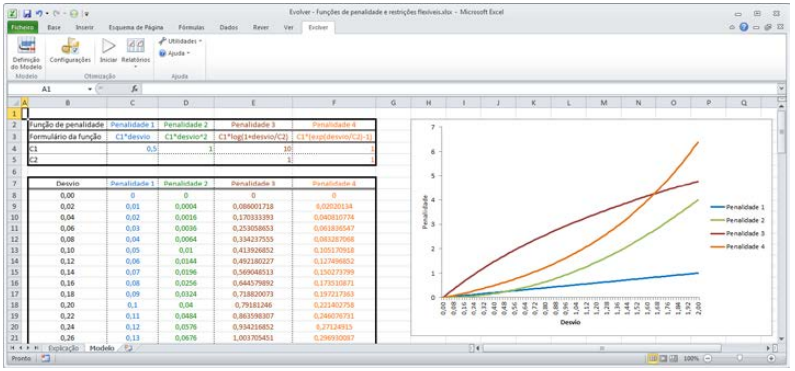


Mais informações sobre as funções de penalidade são apresentadas a seguir:

- **Como inserir uma função de penalidade.** O Evolver tem uma função penalidade padrão que é exibida quando você insere inicialmente uma restrição flexível. No entanto, qualquer fórmula válida do Excel pode ser inserida para calcular a quantidade de penalidade a ser aplicada quando a restrição flexível (soft) não é atendida. Uma função de penalidade inserida deve incluir a palavra-chave ***desvio***, que representa a quantidade absoluta pela qual a restrição ultrapassou o limite estabelecido. No final de cada simulação de uma solução teste o Evolver verifica se a restrição flexível foi atendida; se não foi, ele insere a quantidade de desvio na fórmula da função de penalidade e calcula o valor da penalidade a ser aplicada na estatística da célula-alvo.

  O valor da penalidade pode ser subtraído ou somado à estatística calculada da célula-alvo, de forma a torná-la menos "ótima". Por exemplo, se no campo *Objetivo da otimização,* da caixa de diálogo Modelo do Evolver, tiver sido escolhido *Máximo*, a penalidade será subtraída da estatística calculada para a célula-alvo.

- **Como visualizar os efeitos de uma função de penalidade inserida.** O Evolver inclui uma planilha Excel chamada **Evolver - Funções de penalidade e restrições flexíveis.xlsx** (ou **.xls**) que pode ser usada para avaliar os efeitos de diferentes funções de penalidade em restrições flexíveis específicas e em resultados de células alvo.



A planilha **Evolver - Funções de penalidade e restrições flexíveis** permite que você selecione uma restrição flexível no modelo, cujo efeito você deseja analisar. Você pode então alterar a função de penalidade e verificar como a função mapeia um valor específico da restrição flexível não atendida, em relação a um valor-alvo específico penalizado. Por exemplo, se a restrição flexível é A10<100, você pode usar a planilha **Evolver - Funções de penalidade e restrições flexíveis** flexíveis.xls para verificar qual seria o valor do alvo se um valor de 105 fosse calculado para a célula A10.

- **Como visualizar as penalidades aplicadas.** Quando uma penalidade é aplicada em uma célula-alvo devido a uma restrição flexível não atendida, a quantidade da penalidade aplicada pode ser visualizada no Observador do Evolver. Além disso, os valores de penalidade são exibidos nas planilhas de Registro de otimização, criadas opcionalmente após a otimização.

NOTA: Se você inserir uma solução na planilha, no final de uma otimização, o resultado calculado da célula exibido na planilha não incluirá nenhuma penalidade aplicada devido a restrições flexíveis não atendidas. Verifique na planilha de registro da otimização qual foi o resultado de célula-alvo penalizado e a quantidade de penalidade imposta por cada restrição flexível não atendida.

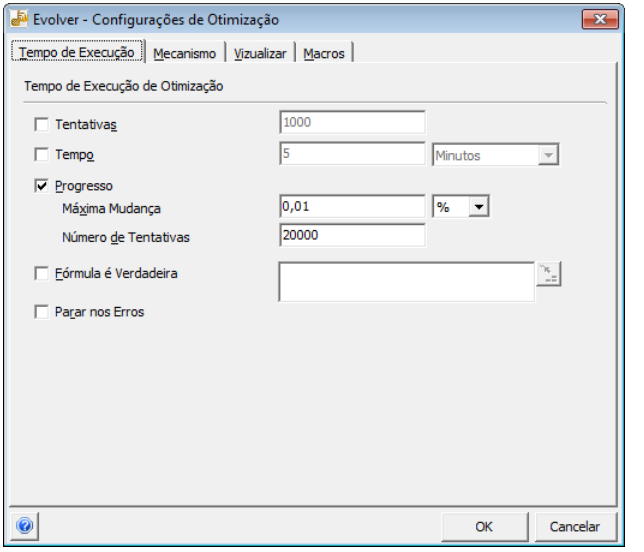
- **Implementação de restrições flexíveis em fórmulas da planilha.** As funções de penalidade podem ser implementadas diretamente nas fórmulas de sua planilha. Ao inserir restrições flexíveis diretamente na planilha, elas não devem ser inseridas na caixa de diálogo principal do Evolver. Para obter mais informações sobre como inserir funções de penalidade em uma planilha, consulte a seção *Restrições flexíveis (soft)* em Recursos adicionais do Evolver.

Comando Configurações de otimização

Comando Configurações de otimização – Guia Tempo de Execução

Define as configurações de tempo de execução de uma otimização.

A guia **Tempo de Execução** da caixa de diálogo **Configurações de otimização** exibe configurações do Evolver que determinam o tempo de execução da otimização. Estas condições de parada especificam como e quando o Evolver deverá parar a otimização. Após selecionar o comando **Iniciar otimização**, o Evolver rodará continuamente, buscando melhores soluções e rodando simulações até que o critério de parada selecionado seja atendido. Você pode acionar qualquer número de condições ou nenhuma, se desejar que o Evolver faça a busca indefinidamente (até você pará-la manualmente). Quando múltiplas condições são selecionadas, o Evolver pára assim que uma das condições é atendida. Você também pode ignorar essas restrições e parar o Evolver manualmente a qualquer momento por meio do botão **Parar**, na janela do **Observador do Evolver** ou na janela **Progresso**.



Opções de tempo de execução da otimização

As opções de **Tempo de Execução de otimização** da guia **Tempo de Execução** são:

- **Tentativas –** Esta opção, quando definida, pára o Evolver após ser gerado o número de tentativas especificado.

  A definição Tentativas é especialmente útil para comparar a eficiência do Evolver ao experimentar diferentes métodos de modelagem. Ao mudar a forma de modelar um problema ou ao escolher um método de solução diferente, você pode aumentar a eficiência do Evolver. Ao especificar que um modelo rode durante determinado número de simulações, é possível saber com que grau de eficiência o Evolver converge em uma solução, independentemente das diferenças no número de variáveis escolhidas, velocidade do hardware utilizado ou taxa de atualização da tela. A planilha de resumo de otimização do Evolver também é útil para comparar os resultados de diversas execuções. Para obter mais informação sobre as planilhas de resumo de otimização, consulte a seção Observador do Evolver – Condições de parada, neste capítulo.

- **Tempo –** Esta opção, quando definida, faz com que o Evolver pare de simular cenários depois de decorrido dado número de horas, minutos ou segundos. Esta opção pode ser definida com qualquer número real positivo (600, 5,2 etc.).

- **Progresso –** Esta opção, quando definida, faz com que o Evolver pare de simular cenários quando a melhoria na célula-alvo for menor que a quantidade especificada (critério de mudança). Você pode definir o número de simulações após as quais deve ser verificada a ocorrência de melhoria; esta definição deve ser um número inteiro. Um valor percentual (ex.: 1%) pode ser inserido como máxima mudança de valor, no campo *Máxima mudança*.

  Vamos supor que estamos tentando maximizar o valor da célula-alvo e os parâmetros usados na condição de parada de andamento são 20.000 simulações e 0,01% de alteração. Também vamos supor que após 10.000 tentativas, a melhor resposta encontrada seja 2.000. Se a opção "*Progresso*" for a única condição de parada selecionada, quando o Evolver chegar à simulação 30.000 ele só continuará se ainda puder encontrar uma resposta de no mínimo 2000.2 durante as últimas 20.000 simulações. Em outras palavras, se as respostas do Evolver não tiverem melhorado pelo menos 0,01% nas últimas 20.000 simulações, ele presumirá que há pouca otimização a ser feita e parará de procurar resultados. Quanto mais complexo for o problema de otimização, maior será o

número de tentativas que devem ser especificadas nessa condição de parada.

Esta é a condição mais usada de parada, porque fornece ao usuário uma forma eficaz de interromper o Evolver após a taxa de melhoria ter caído bastante e o Evolver não conseguir mais gerar melhores soluções. Se estiverem sendo exibidos os gráficos dos melhores resultados na guia Progresso do Observador do Evolver, eles se tornarão planos após certo tempo, antes da condição ser atendida e o Evolver parar. "*Progresso*" é, na verdade, simplesmente uma forma automática de fazer o que você poderia fazer manualmente: deixar o gráfico rodar até a taxa de melhoria praticamente zerar.

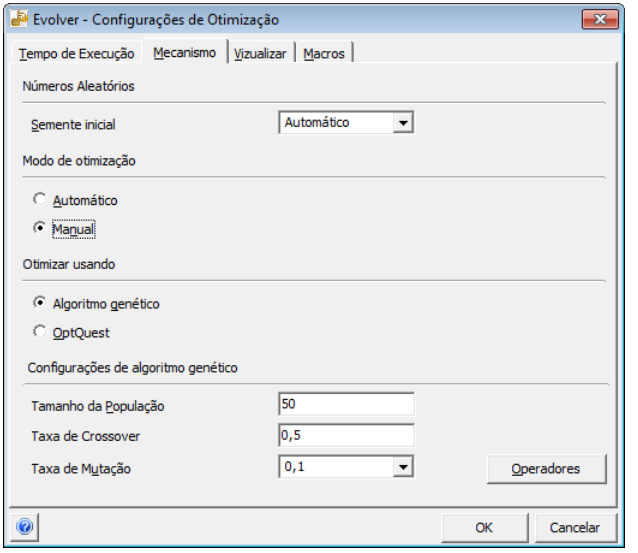
- **Fórmula é verdadeira.** Esta condição de parada faz com que a otimização se encerre sempre que a fórmula Excel inserida (ou referenciada) retorne VERDADEIRO durante a otimização.
- **Parar em erro.** Esta condição de parada faz com que a otimização se encerre sempre que um valor de erro é calculado para a célula-alvo.

NOTA: Você também pode deixar de selecionar condições de parada, e o Evolver rodará até que seja pressionado o botão Parar na janela Progresso ou no Observador do Evolver.

Comando Configurações – guia Mecanismo

Seleciona as configurações e o mecanismo de otimização

A guia Mecanismo da caixa Configurações de otimização seleciona o mecanismo e as configurações de otimização que serão usadas durante a otimização. O Evolver usa o OptQuest e algoritmos genéticos para procurar as melhores soluções para determinado problema. O Evolver também soluciona problemas lineares usando métodos de programação linear, se o modo Otimização estiver em **Automático**.



O campo **Semente inicial** refere-se ao gerador de números aleatórios do algoritmo de otimização (algoritmo genético ou OptQuest). Ao definir este campo como um valor inteiro fixo, garantimos que a mesma sequência de soluções será gerada em duas otimizações, dados os mesmos valores iniciais das células ajustáveis. Deixar este campo definido como **Automático** fará com que o Evolver selecione aleatoriamente o conjunto inicial.

Modo de otimização

Em muitos casos, o Evolver pode detectar automaticamente qual mecanismo resultará nas soluções mais rápidas e melhores para o seu modelo. A definição **Automático** define isso (e permite ao Evolver usar métodos de programação linear para problemas lineares). Entretanto, em certas situações talvez você queira especificar que seja usado um mecanismo específico. Por exemplo, talvez você tenha um modelo que necessite o uso dos métodos de solução de Projeto ou Agendamento, que só estão disponíveis com o mecanismo de algoritmo genético.

Otimizar usando

Há dois mecanismos de otimização disponíveis – **Algoritmo Genético** e **OptQuest** – para procurar soluções otimizadas para um problema.

O mecanismo de algoritmo genético originou-se no Evolver, o solver da Palisade, e foi usado em versões anteriores à versão 6.0 do Evolver. O mecanismo de **Algoritmo Genético** funciona como os princípios darwinianos de seleção natural, criando um ambiente em que centenas de soluções possíveis para um problema competem entre sim, e apenas a mais apta sobrevive. Da mesma forma que na evolução biológica, cada solução pode transmitir seus "bons" genes a soluções "descendentes", a fim de que toda a população de soluções continue a evoluir no sentido de criar melhores soluções.

O **OptQuest Engine** usa otimização matemática, meta-heurística e componentes de rede neural para guiar a busca de melhores soluções para todos os tipos de problemas de planejamento e decisão. Os métodos do OptQuest incorporam procedimentos meta-heurísticos dos mais avançados, incluindo busca Tabu, redes neurais e pesquisa de dispersão em um único método composto.

Configurações de algoritmo genético

As **Configurações de algoritmo genético** na guia Mecanismo incluem:

Tamanho da população. O tamanho da população informa ao Evolver quantos organismos (ou conjuntos completos de variáveis) devem ser armazenados na memória a um dado momento. Embora ainda haja muito debate e pesquisa com relação ao tamanho ótimo de população a ser utilizado em diferentes problemas, de modo geral recomendamos usar de 30 a 100 organismos na população, dependendo do porte do problema (maiores populações para maiores problemas). A noção comum é que uma população maior prolonga a busca da solução, mas fornece maior probabilidade de encontrar uma resposta global devido à maior diversidade de genes presentes.

Crossover e **Mutação**. Um dos problemas mais difíceis ao procurar a melhor solução para problemas que aparentemente têm infinitas possibilidades, é saber no que se concentrar. Em outras palavras, quanto tempo computacional deve ser dedicado a buscas em novas áreas do "espaço de solução", e quanto tempo deve ser dedicado a refinar as soluções já encontradas que foram comprovadas como adequadas?

Grande parte do êxito do algoritmo genético é atribuída à sua capacidade inerente de manter esse equilíbrio. A estrutura do algoritmo genético permite que as boas soluções se "reproduzam", mas, ao mesmo tempo, ela mantém organismos menos aptos por perto, para preservar a diversidade, na esperança de que possa haver um "gene" mais relevante para a solução final.

Crossover e *Mutação* são dois parâmetros que afetam o escopo da busca; no Evolver, o usuário pode mudar esses parâmetros antes de e durante o processo evolutivo. Assim, um usuário com mais conhecimento pode ajudar o algoritmo genético a decidir onde concentrar a sua energia. Para a maioria das finalidades, as configurações padrão de crossover e mutação (respectivamente 5 e 1), não precisam ser ajustadas. Se você quiser fazer um ajuste fino do algoritmo em função do seu problema específico, faça estudos comparativos ou, simplesmente, experimente. A seguir, apresentamos uma breve introdução a esses dois parâmetros:

- **Crossover.** A taxa de crossover pode ser definida entre 0,01 e 1,0; ela representa a probabilidade de que futuros cenários ou "organismos'' conterão uma mescla de informações da geração anterior de organismos "pais" ou genitores. Essa taxa pode ser modificada por usuários experientes para otimizar o desempenho do Evolver ao resolver problemas complexos.

  Em outras palavras: uma taxa de 0,5 significa que um indivíduo, ou organismo "filho", conterá cerca de 50% dos valores variáveis de um dos genitores e o restante dos valores do outro. Uma taxa de 0,9 significa que cerca de 90% dos valores de um indivíduo, ou organismo "filho", será proveniente do primeiro genitor e 10% do segundo. Uma taxa de 1 significa que não irá ocorrer crossover, portanto, só serão avaliados os clones dos genitores.

  A taxa padrão usada pelo Evolver é 0,5. Se o Evolver já tiver começado a resolver o problema, você pode mudar a taxa de crossover usando o Observador do Evolver (consulte a seção Observador do Evolver, neste capítulo). 0

- **Taxa de Mutação.** A taxa de mutação pode ser definida entre 0,0 e 1,0; ela representa a probabilidade de futuros cenários conterem alguns valores aleatórios. Uma taxa de mutação mais alta simplesmente significa que mais mutações ou valores aleatórios de "genes" são introduzidos na população. Como a mutação ocorre depois do crossover, a definição da taxa de mutação como 1 (100% de valores aleatórios) efetivamente impede o efeito de crossover, e o Evolver, nesse caso, gera cenários totalmente aleatórios.

  Se todos os dados da solução ótima (a melhor solução possível) se encontrarem na população, o operador de crossover por si só não será suficiente para chegar a uma solução. No mundo biológico, a mutação demonstrou ser uma força poderosa devido a vários fatores, e esses mesmos fatores a tornam necessária nos algoritmos genéticos. É vital manter a diversidade da população

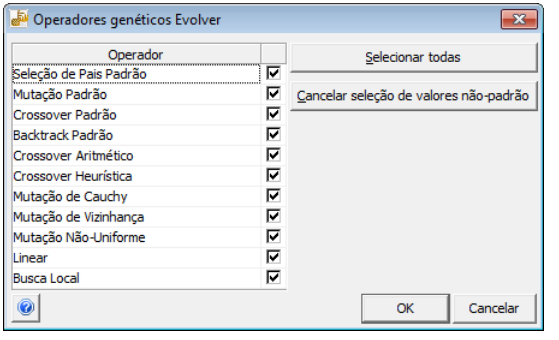
de organismos individuais, e assim evitar que a população se torne rígida e incapaz de se adaptar a um ambiente dinâmico. Da mesma forma que no algoritmo genético, geralmente as mutações genéticas que ocorrem em animais eventualmente levam ao desenvolvimento de novas funções cruciais.

Para a maioria das finalidades, a definição padrão de mutação não precisa ser ajustada; contudo, usuários experientes podem fazer um ajuste fino para otimizar o desempenho do Evolver em problemas complexos. O usuário talvez queira aumentar a taxa de mutação, caso a população usada pelo Evolver seja razoavelmente homogênea e nenhuma solução tenha sido encontrada nas últimas centenas de tentativas. As mudanças típicas desta definição variam de 0,06 a 0,2. Se o Evolver já tiver começado a resolver o problema, você pode mudar a taxa de mutação usando o Observador do Evolver (consulte a seção Observador do Evolver, neste capítulo).

Selecione *Auto* na lista suspensa do campo da taxa de mutação para que ela seja ajustada automaticamente. O ajuste automático da taxa de mutação permite que o Evolver aumente a taxa automaticamente quando um organismo "envelhece" significativamente, isto é, permanece no mesmo lugar no decorrer de um grande número de tentativas. Em muitos modelos, especialmente em casos em que não se sabe qual é a taxa de mutação, selecionar Auto pode produzir melhores resultados com mais rapidez.

Operadores

O Evolver contém operadores genéticos selecionáveis que podem ser usados com o método de solução "receita". Clique no botão **Operadores** na caixa de diálogo Configurações de otimização da guia Mecanismo para selecionar um operador genético específico (ex.: crossover heurístico ou mutação boundary) a ser usado para gerar os valores possíveis para um conjunto de células ajustáveis. Além disso, o Evolver pode testar automaticamente todos os operadores disponíveis e identificar o melhor para o seu problema.



Algoritmos genéticos usam operadores genéticos para criar novos indivíduos na população, com base nos indivíduos existentes. Dois tipos de operadores genéticos empregados pelo Evolver são: *mutação* e *crossover*. O operador de mutação determina se mudanças aleatórias nos "genes" (variáveis) ocorrerão, e de que forma ocorrerão. O operador de crossover determina de que forma pares de indivíduos da população trocam material genético para produzir novos indivíduos, os quais podem vir a ser melhores soluções dos que os dois genitores.

O Evolver oferece os seguintes operadores genéticos especializados:

- **Operadores lineares –** projetados para solucionar problemas para os quais a melhor solução se encontra nos limites do espaço de busca definido pelas restrições. Este par de operadores de mutação e crossover é muito útil para solucionar problemas de otimização lineares.
- **Mutação boundary –** mutação elaborada para otimizar rapidamente as variáveis que afetam o resultado, de modo monotônico; pode ser definida nos extremos do intervalo, sem infringir restrições.
- **Mutação Cauchy –** mutação elaborada para produzir pequenas mudanças nas variáveis, na maioria das vezes, mas ocasionalmente pode produzir grandes mudanças.
- **Mutação não uniforme –** produz mutações cada vez menores à medida que são calculadas mais tentativas. Isso permite que o Evolver faça um "ajuste fino" das respostas.
- **Crossover aritmético –** cria um novo indivíduo por meio da combinação aritmética de dois genitores (em vez de pela troca de genes).
- **Crossover heurístico –** usa valores produzidos pelos genitores para determinar como será produzido o novo indivíduo. Ele efetua a busca no sentido mais promissor e faz o ajuste fino local.

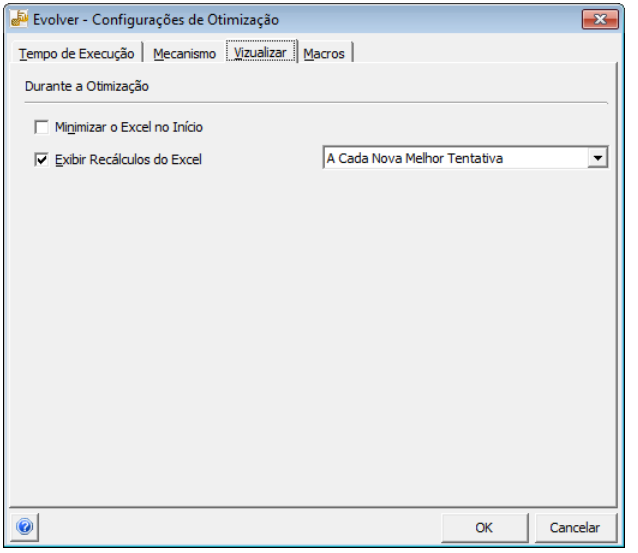
Dependendo do tipo de problema de otimização, certas combinações de operadores de mutação e crossover podem fornecer melhores resultados que outras. Na guia Operadores da caixa de diálogo Configurações do grupo de células ajustáveis, ao usar o método de solução Receita, qualquer número de operadores pode ser selecionado. Quando forem feitas várias seleções, o Evolver testará as combinações válidas dos operadores selecionados para identificar quais apresentarão o melhor desempenho para o seu modelo. Após executar a otimização, a planilha *Sumário de otimização* classifica cada um dos operadores selecionados segundo o desempenho durante a

execução (essa classificação só é exibida se houver tentativas suficientes na otimização). Em execuções subsequentes do mesmo modelo, selecionar apenas os melhores operadores poderá produzir otimizações mais rápidas e melhores.

Comando Configurações de otimização – Guia Visualizar

Define as configurações de visualização de uma otimização.

A guia **Visualizar**, na caixa de diálogo **Configurações de otimização**, permite definir o que será exibido durante uma otimização.



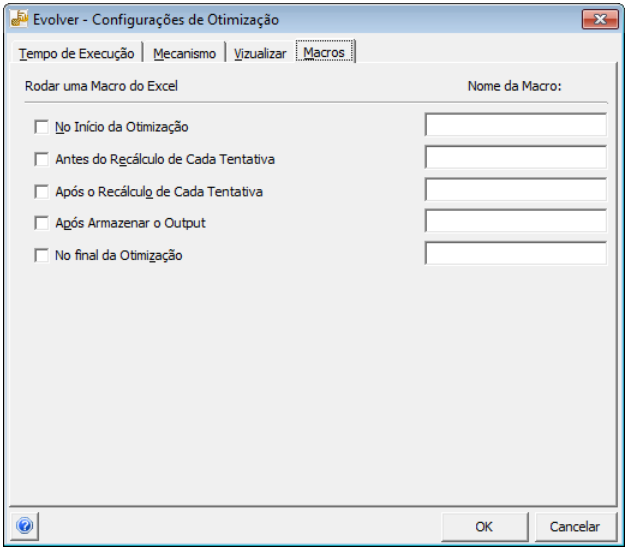
As opções da guia **Visualizar** são:

- **Minimizar o Excel no início**. Esta opção minimiza o Excel quando uma otimização é iniciada.
- **Exibir recálculos do Excel**. Esta opção especifica que o Excel deve fazer uma atualização A cada nova melhor simulação ou no final das simulações, A cada simulação.

Comando Configurações de otimização – Guia Macros

Define macros a serem rodadas durante a otimização.

Macros VBA podem ser rodadas em vários pontos durante a otimização e durante a execução da simulação de cada solução teste. Isto permite desenvolver cálculos customizados que podem ser chamados durante a otimização.



As macros podem ser executadas nos seguintes pontos de uma otimização:

- **No início da otimização –** a macro roda após o ícone Iniciar ser clicado; antes da primeira solução teste ser gerada.
- **Antes do recálculo de cada tentativa –** a macro roda antes de cada recálculo executado.
- **Após o recálculo de cada tentativa –** a macro roda após o recálculo de cada tentativa.
- **Após armazenar o output** - a macro roda após cada tentativa executada e após o valor da célula-alvo ser armazenado no mecanismo de otimização. Consequentemente, quaisquer mudanças feitas nos valores das células não terá efeito na informação transmitida ao mecanismo de otimização naquela tentativa. Essa macro pode ser usada para atualizar o usuário quanto ao progresso da otimização (ou para registrar o progresso).

- **No final da otimização –** a macro roda quando a otimização é finalizada.

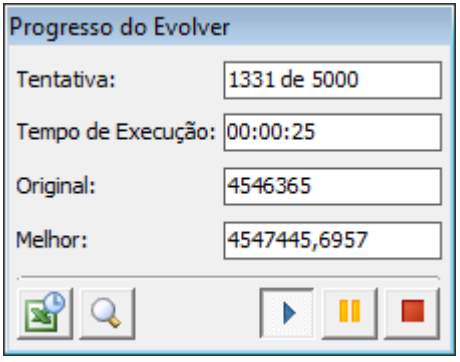
Esta funcionalidade permite que cálculos que só podem ser efetuados usando uma macro sejam efetuados durante a otimização. Exemplos de cálculos realizados por macros são os cálculos em "loop" iterativo e cálculos que requerem novos dados de fontes externas.

O **Nome da macro** especifica a macro a ser executada.

Comando Iniciar otimização

Inicia uma otimização.

Ao selecionar o comando Iniciar otimização, ou clicar no ícone Iniciar otimização, é iniciada uma otimização do modelo e da pasta de trabalho ativa. Quando o Evolver está rodando, é apresentada a janela **Progresso**:



A janela Progresso apresenta o seguinte:

- **Tentativa** ou o número total de tentativas que foram executadas, e também pode indicar quantas delas foram válidas (atendendo todas as restrições rígidas).
- **Tempo de Execução** ou o tempo decorrido da execução.
- **Original** ou o valor original da célula-alvo.
- **Melhor** ou o melhor valor atual da célula-alvo que está sendo minimizada ou maximizada.

As opções da barra de ferramentas da janela **Progresso** do Evolver são:

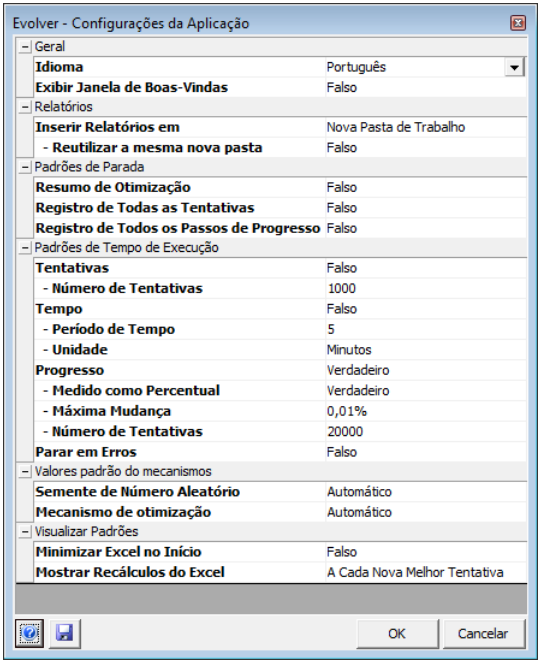
- **Exibir opções de atualização do Excel**. Esta opção é selecionada para atualizar a tela do Excel **A cada tentativa**, **Cada nova melhor tentativa** ou **Nunca**. Note que em algumas situações a tela será atualizada independentemente destas configurações, como quando a otimização é pausada.
- **Exibir Observador do Evolver**. Exibe a janela inteira do **Observador do Evolver**.
- **Executar**. Clicar no ícone Executar faz com que o Evolver comece a buscar a solução com base na descrição constante na caixa de diálogo **Modelo do Evolver**. Se você pausar o Evolver, poderá ainda clicar no ícone **Executar** para continuar a busca de melhores soluções.
- **Pausar.** Se você quiser pausar o Evolver, basta clicar no ícone Pausar para "congelar" temporariamente o processo do Evolver. Com o Evolver em pausa, você pode abrir e explorar o Observador e visualizar o registro, copiar um gráfico ou mudar os parâmetros de algoritmo genético.
- **Parar**. Pára a otimização.

Comandos Utilidades

Comando Configurações da aplicação

Exibe a caixa de diálogo Configurações da aplicação, onde os valores padrão do programa podem ser definidos.

Muitas configurações do Evolver podem ser definidas em valores padrão que são usados sempre que o Evolver é executado. Isso inclui Padrões de parada, Crossover padrão, Taxas de mutação e outras.



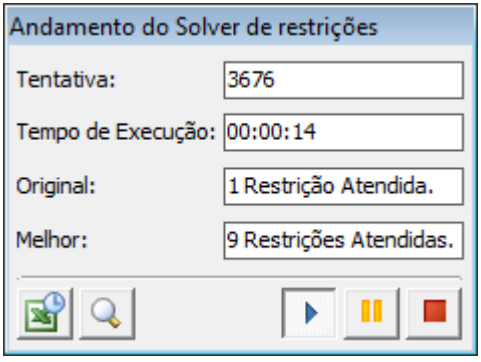
Comando Solver de restrições

Executa o Solver de restrições

NOTA: O **Solver de Restrições** é útil nas otimizações com o algoritmo genético. De modo geral, as otimizações do OptQuest não requerem o uso do Solver de Restrições. A descrição abaixo refere-se apenas ao algoritmo genético.

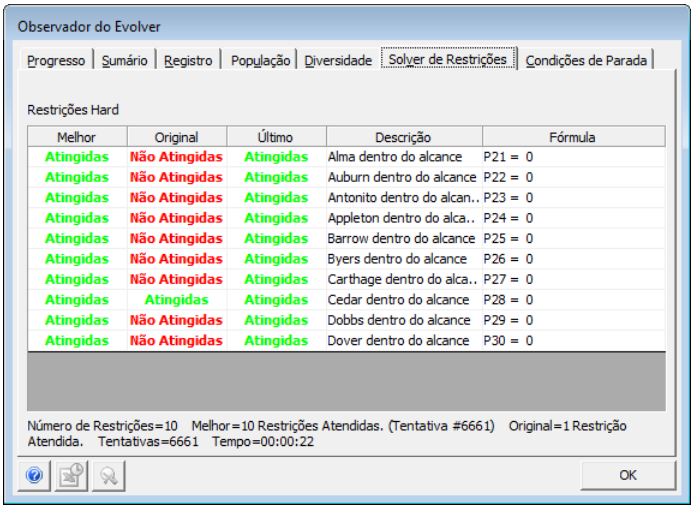
O Solver de restrições aumenta a capacidade do Evolver de lidar com as restrições do modelo. Quando o Evolver executa uma otimização, ele pressupõe que os valores ajustáveis originais da célula satisfazem todas as restrições rígidas (hard), isto é, que a solução original é válida. Se esse não for o caso, o algoritmo poderá executar um número muito grande de simulações até encontrar a primeira solução válida. Contudo, se determinado modelo contiver várias restrições, nem sempre é óbvio quais valores de células ajustáveis atenderão as restrições.

Se o modelo do Evolver contiver várias restrições rígidas (hard) e a otimização fracassar, isto é, todas as soluções forem inválidas, aparecerá uma notificação; nesse caso, pode-se executar o Solver de restrições. O Solver de restrições executa a otimização de um modo especial, com o objetivo de encontrar uma solução que atenda a todas as restrições rígidas (hard). O andamento da otimização é mostrado ao usuário da mesma forma que nas otimizações normais. A janela **Progresso** mostra o número de restrições que foram atendidas pela solução original e pela melhor solução.



Um botão na janela Progresso permite que o usuário passe para o Observador do Evolver. No modo Solver de restrições, os detalhes do andamento da otimização podem ser vistos da mesma forma que nas otimizações efetuadas no modo normal, nas guia **Progresso**, **Sumário**, **Registro**, **População** e **Diversidade.** No modo Solver de restrições, o Observador contém uma guia adicional denominada **Solver de**

restrições. Essa guia apresenta o status de cada restrição rígida (**Atingidas** ou **Não atingidas**) nas soluções Melhor, Original e Última.


Observador do Evolver
Progresso | Sumário | Registro | População | Diversidade | Solver de Restrições | Condições de Parada
Restrições Hard
Melhor | Original | Último | Descrição | Fórmula
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Alma dentro do alcance | P21 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Auburn dentro do alcance | P22 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Antonito dentro do alcan.. | P23 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Appleton dentro do alca.. | P24 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Barrow dentro do alcance | P25 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Byers dentro do alcance | P26 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Carthage dentro do alca.. | P27 = 0
Atingidas | Atingidas | Atingidas | Cedar dentro do alcance | P28 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Dobbs dentro do alcance | P29 = 0
Atingidas | Não Atingidas | Atingidas | Dover dentro do alcance | P30 = 0
Número de Restrições=10 Melhor=10 Restrições Atendidas. (Tentativa #6661) Original=1 Restrição Atendida. Tentativas=6661 Tempo=00:00:22
OK

A otimização feita pelo Solver de restrições pára automaticamente quando é encontrada uma solução que atende a todas as restrições rígidas; a otimização também pode ser parada clicando-se no botão da janela de progresso ou no Observador do Evolver. Após o Solver de restrições ser executado, você pode escolher entre as soluções Melhor, Original ou Última, como faz nas otimizações em modo normal, na guia **Condições de parada** do Observador do Evolver.

Observe que não há necessidade de configurar o Solver de restrições antes de executá-lo. Ele usa as configurações especificadas no modelo, mudando apenas o objetivo da otimização: o novo objetivo é encontrar uma solução que atenda a todas as restrições rígidas.

Observador do Evolver

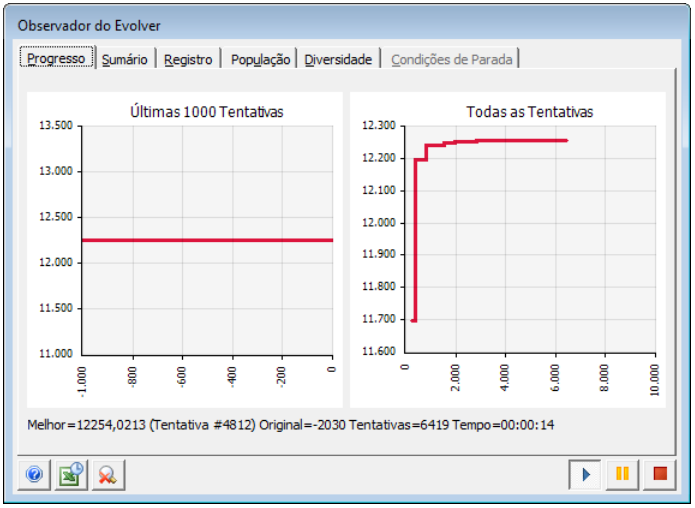
O ícone de lente de aumento na barra de ferramentas de janela Progresso exibe o Observador do Evolver. O Observador do Evolver é responsável por regular e relatar toda a atividade do Evolver.

A partir do Observador do Evolver, você pode alterar parâmetros e analisar o andamento da otimização. Você também pode visualizar em tempo real informações sobre o problema e o progresso do Evolver na barra de status, ao longo da parte inferior do Observador do Evolver.

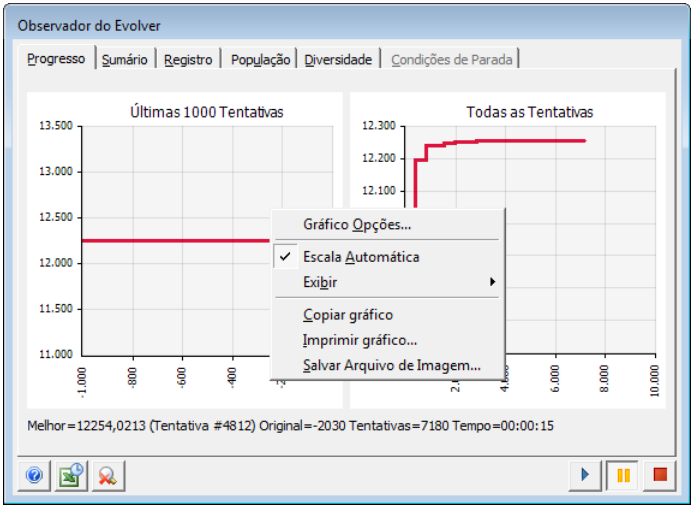
Observador do Evolver – Guia Progresso

Exibe gráficos de progresso do valor da célula-alvo.

A **guia Progresso** do Observador do Evolver exibe graficamente como os resultados na célula-alvo selecionada estão se alterando com cada simulação.

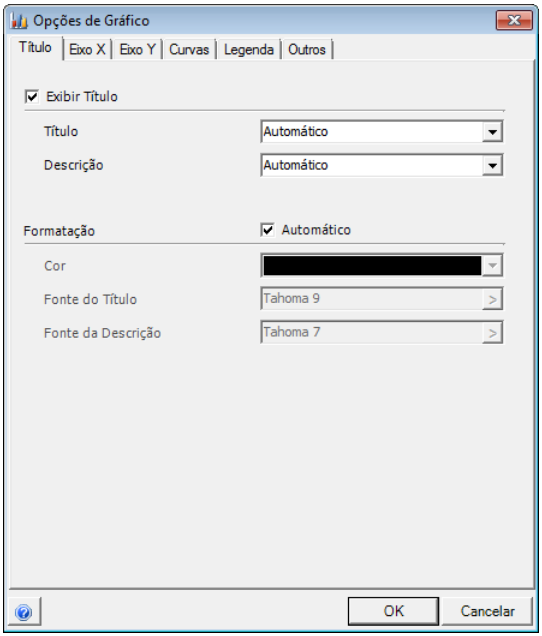


Os gráficos de progresso mostram a contagem de tentativas no eixo X e o valor da célula-alvo no eixo Y. Clicar com o botão direito no gráfico de progresso abre a caixa de diálogo **Opções de gráficos**, na qual se pode personalizar ainda mais os gráficos.



Caixa de diálogo Opções de gráficos

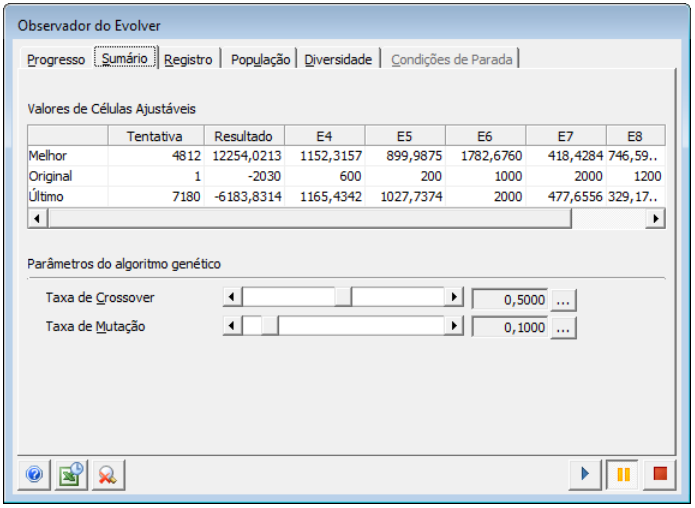
A caixa de diálogo Opções de gráficos permite definir os títulos, legendas, escala e fontes usadas no gráfico exibido.



Observador do Evolver – Guia Sumário

Exibe detalhes dos valores das células ajustáveis.

A guia **Resumo** do Observador do Evolver exibe uma tabela resumida dos valores das células ajustáveis durante a otimização. Se o mecanismo **Algoritmo Genético** for usado, também serão exibidas ferramentas para ajustar a taxa de crossover e mutação.



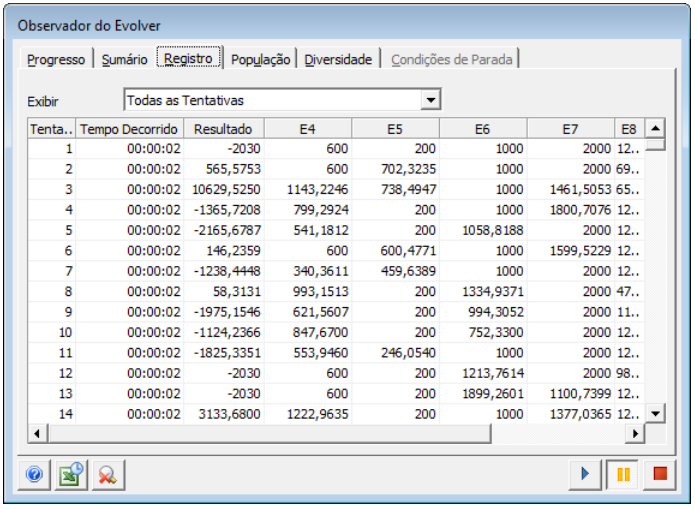
Os **Parâmetros do algoritmo genético** permitem que você altere as taxas de Crossover e Mutação do algoritmo genético quando o problema estiver em progresso. Todas as mudanças feitas nesta etapa cancelam a configuração original desses parâmetros e são efetivadas imediatamente.

Quase sempre recomendamos o uso do valor padrão de crossover de 0,5. Para mutação, em muitos modelos você pode aumentá-la até 0,4 se desejar encontrar a melhor solução e estiver disposto a aguardar mais tempo. Definir o valor da mutação como 1 (o máximo) resultará em uma adivinhação completamente aleatória, porque o Evolver faz a mutação depois do crossover. Isto significa que após os dois genitores selecionados serem cruzados para criar um indivíduo, neste caso uma solução, 100% dos "genes" da solução sofrerão mutação com números aleatórios, tornando o crossover totalmente inútil (para obter mais informações, veja "taxa de crossover, função" e "taxa de mutação, função" no índice remissivo).

Observador do Evolver – Guia Registro

Exibe um registro de cada simulação rodada durante a otimização.

A guia **Registro** do Observador do Evolver exibe uma tabela resumida durante a otimização. O registro inclui os resultados para a célula-alvo, cada célula ajustável e as restrições inseridas.



Tenta..	Tempo Decorrido	Resultado	E4	E5	E6	E7	E8
1	00:00:02	-2030	600	200	1000	2000	12..
2	00:00:02	565,5753	600	702,3235	1000	2000	69..
3	00:00:02	10629,5250	1143,2246	738,4947	1000	1461,5053	65..
4	00:00:02	-1365,7208	799,2924	200	1000	1800,7076	12..
5	00:00:02	-2165,6787	541,1812	200	1058,8188	2000	12..
6	00:00:02	146,2359	600	600,4771	1000	1599,5229	12..
7	00:00:02	-1238,4448	340,3611	459,6389	1000	2000	12..
8	00:00:02	58,3131	993,1513	200	1334,9371	2000	47..
9	00:00:02	-1975,1546	621,5607	200	994,3052	2000	11..
10	00:00:02	-1124,2366	847,6700	200	752,3300	2000	12..
11	00:00:02	-1825,3351	553,9460	246,0540	1000	2000	12..
12	00:00:02	-2030	600	200	1213,7614	2000	98..
13	00:00:02	-2030	600	200	1899,2601	1100,7399	12..
14	00:00:02	3133,6800	1222,9635	200	1000	1377,0365	12..

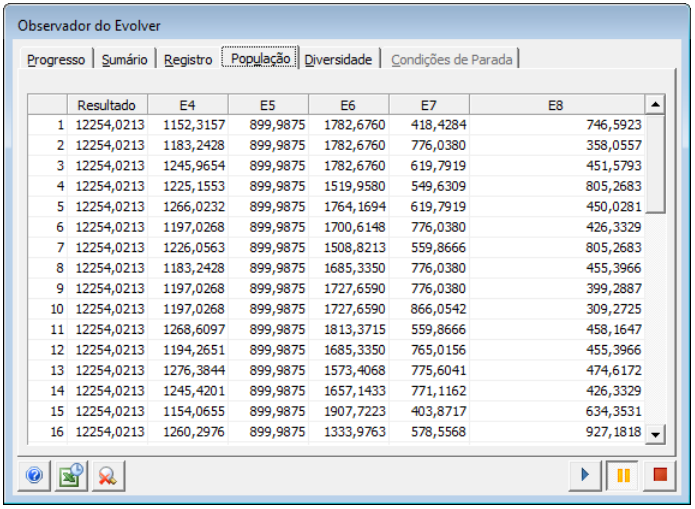
As opções em Exibir podem ser selecionadas para a exibição de um registro de Todas as tentativas ou apenas das simulações em que houve um Passo de progresso (isto é, onde o resultado da otimização melhorou). O registro inclui:

1) **Tempo decorrido**, ou o tempo de início da simulação.
2) **Resultado**, ou o valor da estatística da célula-alvo que você está tentando maximizar ou minimizar, incluindo penalidades para as restrições flexíveis (soft).
3) **Colunas de inputs**, ou os valores usados para as células ajustáveis.
4) **Colunas de restrições**, indica se as restrições foram atendidas ou não.

Observador do Evolver – Guia População

Apresenta uma lista de todas as variáveis de cada organismo (cada solução possível) da população atual.

Se for usado o mecanismo do algoritmo genético, será exibida a guia População. Ela exibe uma grade com todas as variáveis de cada organismo (cada possível solução) da população atual. Esses organismos ("Org n") são elencados na ordem do pior para o melhor. Como essa tabela lista todos os organismos da população, a configuração "tamanho da população", no diálogo de Configurações do Evolver, determina quantos organismos serão listados aqui (a definição padrão é 50). Além disso, a coluna Resultado mostra o valor resultante da célula-alvo para cada organismo.

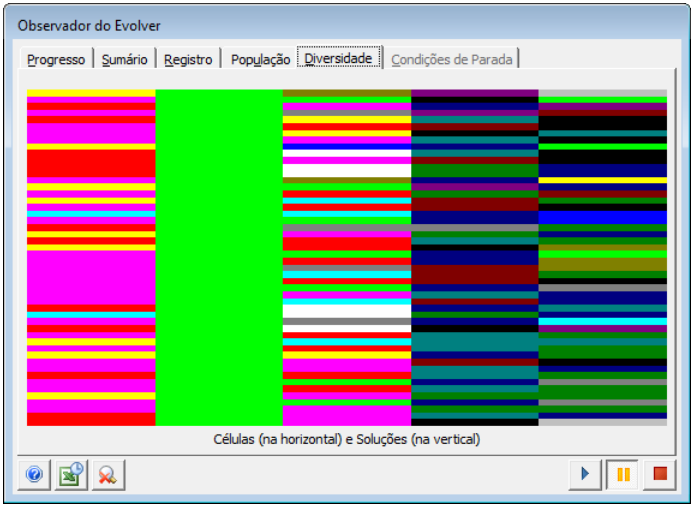


	Resultado	E4	E5	E6	E7	E8
1	12254,0213	1152,3157	899,9875	1782,6760	418,4284	746,5923
2	12254,0213	1183,2428	899,9875	1782,6760	776,0380	358,0557
3	12254,0213	1245,9654	899,9875	1782,6760	619,7919	451,5793
4	12254,0213	1225,1553	899,9875	1519,9580	549,6309	805,2683
5	12254,0213	1266,0232	899,9875	1764,1694	619,7919	450,0281
6	12254,0213	1197,0268	899,9875	1700,6148	776,0380	426,3329
7	12254,0213	1226,0563	899,9875	1508,8213	559,8666	805,2683
8	12254,0213	1183,2428	899,9875	1685,3350	776,0380	455,3966
9	12254,0213	1197,0268	899,9875	1727,6590	776,0380	399,2887
10	12254,0213	1197,0268	899,9875	1727,6590	866,0542	309,2725
11	12254,0213	1268,6097	899,9875	1813,3715	559,8666	458,1647
12	12254,0213	1194,2651	899,9875	1685,3350	765,0156	455,3966
13	12254,0213	1276,3844	899,9875	1573,4068	775,6041	474,6172
14	12254,0213	1245,4201	899,9875	1657,1433	771,1162	426,3329
15	12254,0213	1154,0655	899,9875	1907,7223	403,8717	634,3531
16	12254,0213	1260,2976	899,9875	1333,9763	578,5568	927,1818

Observador do Evolver – Guia Diversidade

Exibe um gráfico colorido de todas as variáveis na população atual.

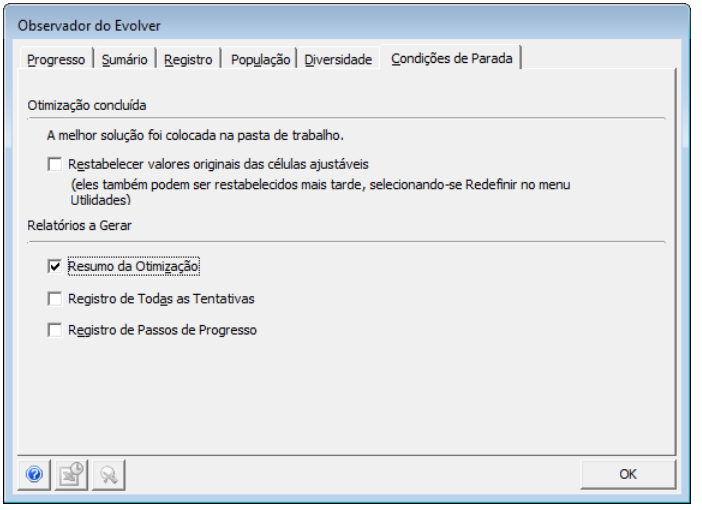
Esta guia aparece se o algoritmo genético for usado (ela não aparece quando é usado o mecanismo de otimização OptQuest). O gráfico na guia Diversidade associa cores a valores de células ajustáveis, com base em quanto o valor de uma dada célula difere da população de organismos (solução) armazenados na memória em um ponto específico (segundo a terminologia de otimização genética, essa indicação significa que a diversidade já existe no pool genético). Cada barra vertical do gráfico corresponde a uma célula ajustável. As listras horizontais dentro de cada barra representam os valores da célula ajustável em questão em diferentes organismos (soluções). As cores das listras são atribuídas dividindo-se o intervalo entre o valor mínimo e máximo correspondente a uma célula ajustável específica em 16 intervalos de mesma amplitude; cada intervalo é representado por uma cor distinta. Por exemplo, na figura, o fato de que a barra vertical que representa a segunda célula ajustável é de uma cor só significa que a célula tem o mesmo valor em cada uma das soluções contidas na memória.



Observador do Evolver – Guia Condições de parada

Exibe as opções de parada da otimização.

Ao clicar no botão Parar, a guia Condições de parada da caixa de diálogo Observador do Evolver é exibida. Ela inclui as opções disponíveis para atualizar a planilha com os melhores valores calculados para as células ajustáveis, restaurar valores originais e gerar um relatório resumido da otimização.

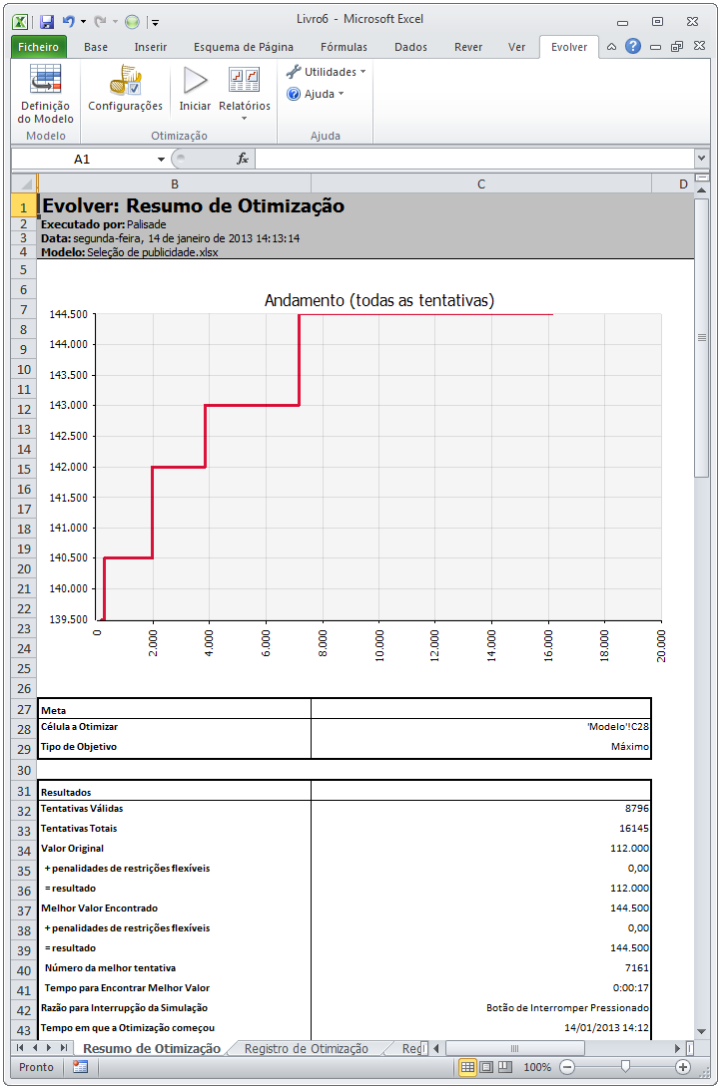


Esta caixa de diálogo também aparece se uma das condições de parada especificadas pelo usuário tiver sido encontrada (número de tentativas solicitadas foi avaliado, minutos requisitados já se encerraram, etc.). Na guia **Opções de parada** você pode restabelecer os valores originais das células ajustáveis, como estavam antes da execução do Evolver.

Todas as ações disponíveis na guia Opções de parada também podem ser executadas por meio dos comandos nos menus/barra de ferramentas do Evolver. Se o Observador for fechado, ao clicar em OK sem que seja selecionada nenhuma ação, o usuário ainda poderá definir as células ajustáveis nos valores originais e gerar relatórios usando os comandos dos menus/barra de ferramentas.

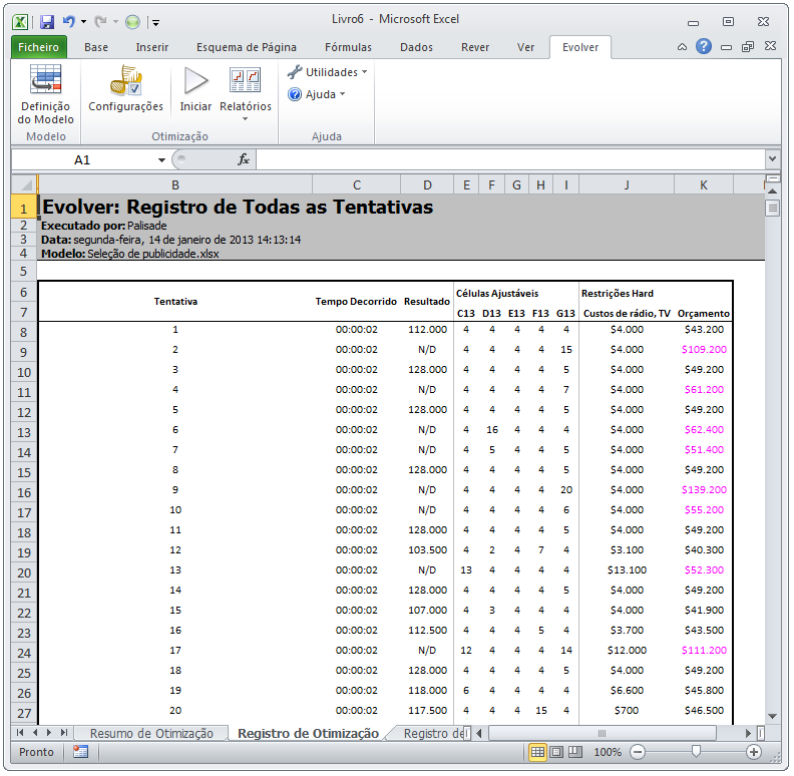
As opções de **Relatórios a gerar** permitem gerar planilhas de resumo da otimização, que podem ser usadas para informar sobre os resultados e comparar os resultados das execuções. As opções de Relatórios são:

- **Resumo de otimização**. Este relatório resumido da otimização contém informações como data e hora da execução, configurações usadas, valor calculado da célula-alvo e valor de cada célula ajustável.



Este relatório é útil para comparar os resultados de otimizações sucessivas.

- **Registro de todas as tentativas.** Este relatório registra os resultados de todas as tentativas realizadas. Os valores em magenta indicam que uma restrição não foi atendida.



Livro6 - Microsoft Excel

Ficheiro | Base | Inserir | Esquema de Página | Fórmulas | Dados | Rever | Ver | Evolver

Definição do Modelo | Configurações | Iniciar | Relatórios | Utilidades | Ajuda

Modelo | Otimização | Ajuda

A1

Evolver: Registro de Todas as Tentativas

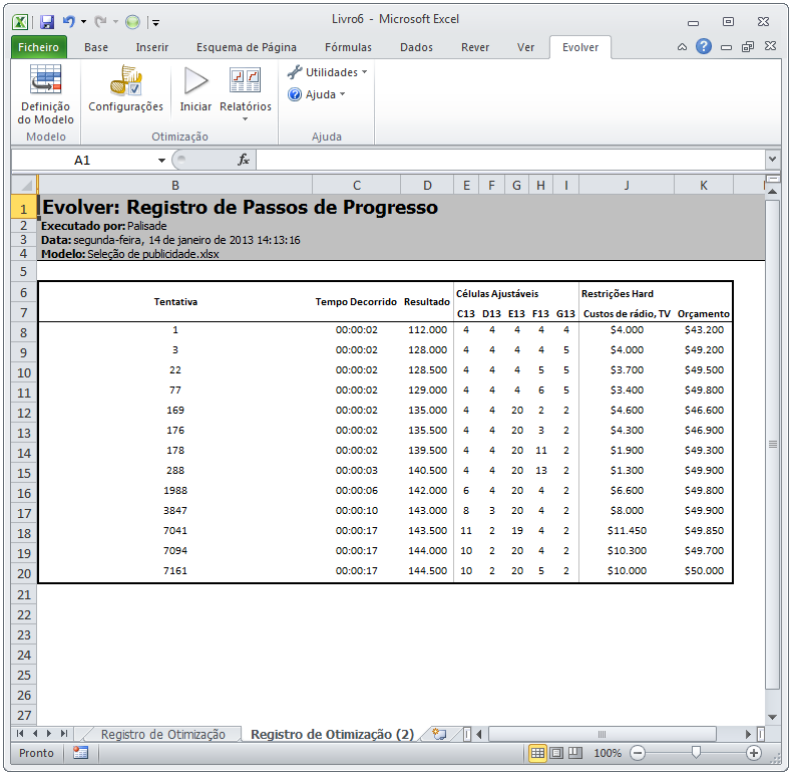
Executado por: Palisade
Data: segunda-feira, 14 de janeiro de 2013 14:13:14
Modelo: Seleção de publicidade.xlsx

Tentativa	Tempo Decorrido	Resultado	Células Ajustáveis					Restrições Hard	
			C13	D13	E13	F13	G13	Custos de rádio, TV	Orçamento
1	00:00:02	112.000	4	4	4	4	4	$4.000	$43.200
2	00:00:02	N/D	4	4	4	4	15	$4.000	$109.200
3	00:00:02	128.000	4	4	4	4	5	$4.000	$49.200
4	00:00:02	N/D	4	4	4	4	7	$4.000	$61.200
5	00:00:02	128.000	4	4	4	4	5	$4.000	$49.200
6	00:00:02	N/D	4	16	4	4	4	$4.000	$62.400
7	00:00:02	N/D	4	5	4	4	5	$4.000	$51.400
8	00:00:02	128.000	4	4	4	4	5	$4.000	$49.200
9	00:00:02	N/D	4	4	4	4	20	$4.000	$139.200
10	00:00:02	N/D	4	4	4	4	6	$4.000	$55.200
11	00:00:02	128.000	4	4	4	4	5	$4.000	$49.200
12	00:00:02	103.500	4	2	4	7	4	$3.100	$40.300
13	00:00:02	N/D	13	4	4	4	4	$13.100	$52.300
14	00:00:02	128.000	4	4	4	4	5	$4.000	$49.200
15	00:00:02	107.000	4	3	4	4	4	$4.000	$41.900
16	00:00:02	112.500	4	4	4	5	4	$3.700	$43.500
17	00:00:02	N/D	12	4	4	4	14	$12.000	$111.200
18	00:00:02	128.000	4	4	4	4	5	$4.000	$49.200
19	00:00:02	118.000	6	4	4	4	4	$6.600	$45.800
20	00:00:02	117.500	4	4	4	15	4	$700	$46.500

Resumo de Otimização | Registro de Otimização | Registro de

Pronto | 100%

- **Registro de passos de progresso**. Este relatório registra os resultados de todas as tentativas que melhoraram o resultado da célula-alvo.



Livro6 - Microsoft Excel

Ficheiro | Base | Inserir | Esquema de Página | Fórmulas | Dados | Rever | Ver | Evolver

Definição do Modelo | Configurações | Iniciar | Relatórios | Utilidades | Ajuda

Modelo | Otimização | Ajuda

A1

Evolver: Registro de Passos de Progresso

Executado por: Palisade
Data: segunda-feira, 14 de janeiro de 2013 14:13:16
Modelo: Seleção de publicidade.xlsx

Tentativa	Tempo Decorrido	Resultado	Células Ajustáveis					Restrições Hard	
			C13	D13	E13	F13	G13	Custos de rádio, TV	Orçamento
1	00:00:02	112.000	4	4	4	4	4	$4.000	$43.200
3	00:00:02	128.000	4	4	4	4	5	$4.000	$49.200
22	00:00:02	128.500	4	4	4	5	5	$3.700	$49.500
77	00:00:02	129.000	4	4	4	6	5	$3.400	$49.800
169	00:00:02	135.000	4	4	20	2	2	$4.600	$46.600
176	00:00:02	135.500	4	4	20	3	2	$4.300	$46.900
178	00:00:02	139.500	4	4	20	11	2	$1.900	$49.300
288	00:00:03	140.500	4	4	20	13	2	$1.300	$49.900
1988	00:00:06	142.000	6	4	20	4	2	$6.600	$49.800
3847	00:00:10	143.000	8	3	20	4	2	$8.000	$49.900
7041	00:00:17	143.500	11	2	19	4	2	$11.450	$49.850
7094	00:00:17	144.000	10	2	20	4	2	$10.300	$49.700
7161	00:00:17	144.500	10	2	20	5	2	$10.000	$50.000

Registro de Otimização | Registro de Otimização (2)

Pronto | 100%

Otimização

Métodos de otimização..... 99

Sobre algoritmos Hill-Climbing (gradiente ascendente)..... 101
Otimização local com o Solver do Excel..... 103
Otimização Global – Solver comparado aos add-ins da Palisade104
Tipos de problemas..... 105
Problemas lineares..... 105
Problemas não lineares 106
Problemas combinatórios 108

Métodos de otimização

Já apresentamos alguns exemplos de problemas de otimização nos tutoriais. Alguns problemas de otimização são muito mais difíceis de resolver que outros. Para problemas difíceis, como encontrar a rota mais curta entre 1000 cidades, não é viável examinar cada solução possível. Isso levaria de anos de cálculos mesmo nos computadores mais rápidos.

Para resolver esses tipos de problemas, é necessário procurar soluções em um subconjunto de todas as soluções possíveis. Examinando estas soluções, podemos ter uma melhor noção de como encontrar soluções melhores. Isto é realizado através de um *algoritmo*. Um algoritmo é simplesmente uma descrição passo a passo de como abordar um problema. Todos os programas de computadores, por exemplo, são construídos pela combinação de um grande número de algoritmos.

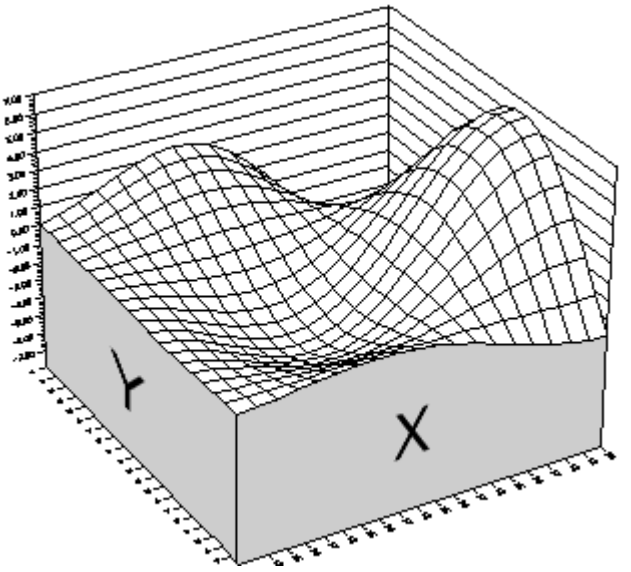
Vamos começar explorando a forma como a maior parte dos algoritmos de solução de problemas representam um problema. A maior parte dos problemas pode ser dividida em três componentes básicos: inputs, algum tipo função e um output resultante.

	Ao procurar:	Dado o seguinte:	Para obter o melhor:
Componentes do problema	Inputs	Função	Output
No Evolver/Excel	Variáveis	Modelo	Meta

Vamos pressupor que nosso problema de otimização envolva duas variáveis, X e Y. Quando expressas em forma de equação, essas duas variáveis produzem um resultado = Z. Nosso problema é encontrar valores para X e Y que produzam o maior valor em Z. Podemos considerar Z como uma "nota" ou classificação, que indica a qualidade de um par X,Y específico.

	Ao procurar:	Dado o seguinte:	Para obter o melhor:
Neste exemplo	X e Y	Equação	Z

A plotagem de cada par de Xs, Ys e os Zs resultantes produziria um gráfico de superfície tridimensional, como o exibido abaixo.



Uma "paisagem" de possíveis cenários ou soluções.

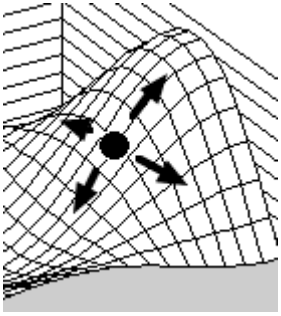
Cada intersecção de valores X e Y produz uma altura Z. Os picos e vales desta "paisagem" representam boas e más soluções, respectivamente. A busca do ponto máximo ou mais alto desta função através do exame de cada solução levaria muito tempo, até mesmo com um computador potente e o programa mais rápido. Lembre-se de que estamos fornecendo ao Excel apenas a função, não um gráfico da função, e que seria igualmente fácil lidar com um problema de 200 dimensões ou de duas dimensões. Portanto, precisamos de um método que nos possibilite efetuar menos cálculos e ainda assim encontre a produtividade máxima.

Sobre algoritmos Hill-Climbing (gradiente ascendente)

Vamos examinar um algoritmo simples chamado Hill-Climbing:

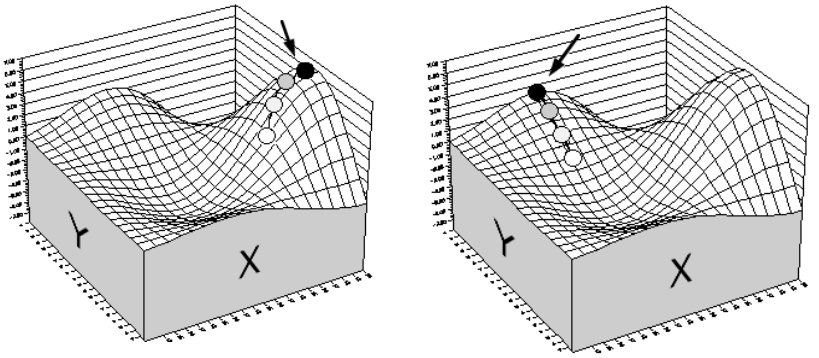
1) *Comece em um ponto aleatório da paisagem (uma escolha aleatória).*
2) *Caminhe uma distância pequena em uma direção arbitrária.*
3) *Se tiver até um ponto mais alto, fique nele e repita a etapa 2. Se o ponto for inferior, retorne ao ponto original e tente novamente.*

O algoritmo Hill-Climbing experimenta apenas uma solução ou cenário por vez. Utilizaremos um ponto preto (•) para representar uma solução possível (um conjunto de valores X, Y e Z). Se colocarmos o ponto em um local aleatório, esperamos que o método de hill-climbing leve o ponto até o local mais alto do gráfico.



No diagrama acima podemos ver claramente que queremos que o ponto suba a colina à direita. Entretanto, só sabemos disso porque vimos a paisagem como um todo. À medida que o algoritmo é executado, ele "vê" a paisagem imediatamente próxima, mas não a paisagem como um todo; ele vê as árvores, mas não a floresta.

Na maior parte dos problemas reais, a paisagem não é tão suave e precisaria de anos para ser calculada, então calculamos apenas o cenário atual e os imediatamente adjacentes. Imagine que o ponto é uma pessoa vendada, em pé, entre colinas suaves e onduladas. Se a pessoa usasse o algoritmo hill-climbing, ela colocaria um pé em cada direção e apenas se moveria se sentisse uma elevação. Essa pessoa caminharia em direção ao topo e eventualmente poderia chegar lá. Parece bastante simples. Entretanto, teremos um problema bastante sério se a pessoa começar em outro lugar. Ela pode subir a colina errada! (Veja o diagrama abaixo).



Mesmo com uma função suave, o hill-climbing pode fracassar se você começar em um ponto ligeiramente diferente (à direita).

O método hill-climbing ("subida de encosta" ou gradiente ascendente) encontra apenas o topo de colina mais próximo, ou o ***máximo local***. Assim, se o problema tiver uma paisagem de solução irregular e cheia de colinas, como um modelo mais realista com certeza terá, o método hill-climbing provavelmente não encontrará a colina mais alta, ou mesmo uma das mais altas.

O método Hill-Climbing apresenta outro problema: como encontramos o terreno ao redor da localização atual? Se a paisagem for descrita por uma função suave, pode ser possível o uso de derivação (uma técnica de cálculo) para encontrar o sentido em que há maior elevação. Se a paisagem é descontínua ou não diferençável (como é mais provável de ocorrer em problemas reais), precisamos calcular uma "pontuação" dos cenários circundantes.

Por exemplo, digamos que um banco contrate um segurança das 9:00 horas às 17:00 horas para guardar o banco, mas o banco deve dar ao segurança dois intervalos de meia-hora. Precisamos encontrar os melhores horários para os intervalos, dadas as regras gerais relacionadas a taxas de performance e fadiga, e considerar os diferentes níveis de atividades dos clientes no decorrer do dia. Podemos começar experimentando várias combinação de intervalos de serviço e avaliando-as. Se usarmos uma agenda na qual os intervalos começam às 11:00 horas e às 15:00 horas, podemos calcular a produtividade dos cenários adjacentes:

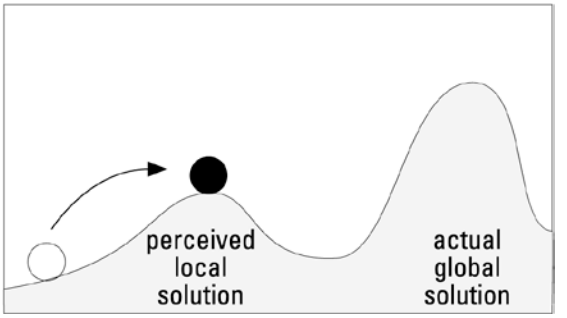
Direção	Intervalo 1 (x)	Intervalo 2 (y)	–Pontuação (z)
Solução atual	11:00	15:00	= 46,5
Cenário Oeste	10:45	15:00	= 44,67
Cenário Leste	11:15	15:00	= 40.08
Cenário Norte	11:00	15:15	= 49,227
Cenário Sul	11:00	14:45	= 43,97

Se tivéssemos três células ajustáveis (intervalos) em vez de duas, precisaríamos procurar em oito direções. De fato, se tivéssemos cinquenta variáveis (bastante real para um problema de porte médio) teríamos de calcular a produtividade de 2^{50}, ou seja, mais de um quadrilhão de cenários, e isto apenas para um guarda!!!

Há modificações que podem ser feitas ao método hill-climbing para melhorar a capacidade de encontrar ótimos globais (os picos mais altos na paisagem). O gradiente ascendente, ou hill-climbing, é um método muito útil para lidar com problemas unimodais (um único pico), e é por isso que alguns programas de análise o usam. No entanto, é um método muito limitado para resolver problemas complexos ou de grande porte.

Otimização local com o Solver do Excel

O Excel inclui uma ferramenta de otimização chamada ***Solver***. Seu algoritmo GRG é um exemplo de um algoritmo Hill Climbing, que encontra uma solução local, mas não foi projetado para encontrar a solução global. Uma rotina de Hill-Climbing começa com o valor atual da variável e, vagarosamente, ajusta-o até o output do modelo não apresentar mais nenhuma melhoria. Isso significa que problemas com mais de uma solução possível podem ser impossíveis para o GRC resolver adequadamente, porque o Solver para em uma solução ótima **local** e sem capacidade para passar a uma solução **global** (veja a figura abaixo).



Paisagem de soluções possíveis.

Além disso, o GRC requer que a função representada pelo modelo seja contínua. Isso significa que o output deve se alterar suavemente à medida que os inputs são ajustados. Se o seu modelo utiliza tabelas de referência, recebe dados com ruído em tempo real de outro programa, contém elementos aleatórios ou envolve regras de situações condicionais (*if-then*), ele será descontínuo e errático. O GRC não consegue resolver esse tipo de problema.

O GRC era o único Solver de algoritmo de otimização não linear oferecido antes do lançamento do Excel 2010 (o Solver também inclui um algoritmo de programação linear para solucionar problemas lineares). Com o Solver da versão do Excel 2010, algumas ferramentas de otimização global foram incluídas, conforme apresentamos na próxima seção.

Otimização Global – Solver comparado aos add-ins da Palisade

Os add-ins do Evolver e do RISKOptimizer para o Excel incluem métodos de otimização global desde as suas primeiras versões. Por outro lado, antes do lançamento do Excel 2010, o Solver oferecia somente um método de otimização local para problemas não lineares: o algoritmo GRC. A Microsoft reconheceu a necessidade de ferramentas de otimização global e as incluiu na versão do Solver no Excel 2010.

O Solver do Excel 2010 oferece métodos de otimização global separados para problemas contínuos e não contínuos. Para procurar um máximo global com funções contínuas, o usuário pode executar o método GRC com a opção "Usar início múltiplo" selecionada. Para otimização global com funções não contínuas, é fornecido o método de solução "Evolutionary". Isso é diferente dos add-ins da Palisade, nos quais o usuário não precisa identificar o tipo de problema de otimização nem fazer a correspondência com o algoritmo. Os dois

algoritmos disponíveis no Evolver e no RISKOptimizer (Algoritmo Genético e OptQuest) podem solucionar tanto problemas globais contínuos como não contínuos; geralmente, o usuário dos produtos Palisade pode escolher que o software faça a seleção do algoritmo.

Além do mais, o Solver do Excel é limitado em termos do tamanho dos problemas que consegue processar. Ele aceita, no máximo, 200 variáveis (células ajustáveis) e 100 restrições (o limite de restrições não inclui restrições simples que definem limites e células ajustáveis).

Vale notar que o Evolver oferece a opção de definir os valores das células ajustáveis como discretas, com um tamanho de etapa definido (por exemplo, se o tamanho for 0,5, os valores permitidos de uma célula ajustável podem ser 1, 1,5, 2, 2,5 e 3). O Solver do Excel não oferece esse recurso.

Tipos de problemas

As otimizações normalmente são usadas para vários tipos de problemas.

Problemas lineares

Em problemas lineares, todos os outputs são funções lineares simples dos inputs, como y=mx + b. Quando os problemas só utilizam operações aritméticas simples como adição e subtração, e funções do Excel como TENDÊNCIA() e PREVISÃO(), indica que há relações puramente lineares entre as variáveis.

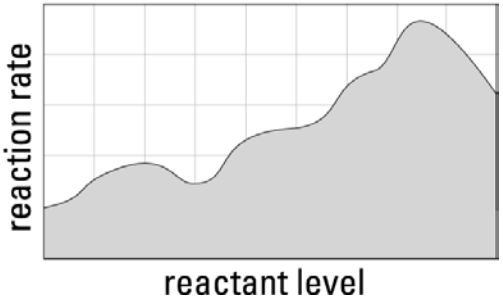
Problemas lineares têm sido bem fáceis de resolver desde o advento dos computadores e da invenção do Método Simplex por George Dantzig. Um problema linear simples pode ser solucionado de forma rápida e exata com um utilitário de programação linear. O Solver incluído no Excel funciona como ferramenta de programação linear quando se marca a caixa de seleção "Presumir modelo linear" (no Excel 2007 ou anterior), ou se seleciona o método de solução "LP Simplex" (no Excel 2010) Assim, o Solver usa uma rotina de programação linear para encontrar rapidamente a solução perfeita. Se o problema puder ser expresso em termos puramente lineares, use programação linear. Infelizmente, a maioria dos problemas do mundo real não pode ser descrita de modo linear.

A partir da versão 6, o Evolver também soluciona problemas lineares por meio de programação linear. Ao contrário do que ocorre com o Solver do Excel, o usuário não precisa identificar o problema como linear. Se o Evolver determinar que o problema é linear, aplicará a programação linear (desde que o Modo de Otimização, na guia Mecanismo da caixa de diálogo Configurações de otimização, esteja definido como **Automático**).

Problemas não lineares

Se o custo de fabricação e transporte de 5000 peças é $5.000, custaria $1 para fabricar e vender 1 peça? Provavelmente não. A linha de montagem ainda consumiria energia, a papelada teria que ser processada pelos vários departamentos, os materiais ainda seriam comprados em lote, os caminhões requereriam a mesma quantidade de gasolina para entregar as peças e o motorista ainda receberia um dia inteiro de salário, não importa o tamanho da carga. A maior parte dos problemas reais não envolve variáveis com simples relações lineares. Estes problemas envolvem multiplicação, quociente, expoentes e funções construídas do Excel, como RAIZ() e CRESCIMENTO(). Sempre que as variáveis tiverem uma relação desproporcional entre si, o problema se torna não linear.

Um exemplo perfeito de um problema não linear é o gerenciamento de um processo de fabricação em uma planta química. Imagine que desejamos misturar alguns reagentes químicos e obter um produto químico como resultado. A taxa dessa reação pode variar não linearmente com a quantidade de reagente disponível; em algum ponto, o catalisador fica saturado e o excesso de reagentes apenas atrapalha a reação. O diagrama a seguir ilustra esta relação:

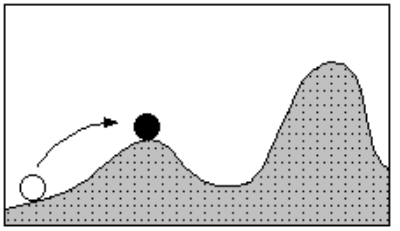


(taxa de reação / nível de reagente)

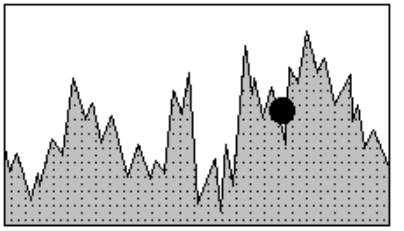
Se precisarmos simplesmente encontrar o nível mínimo de reagentes que nos fornecerá a maior taxa de reação, poderemos começar em qualquer ponto do gráfico e subir pela curva até alcançar o topo. Este método de encontrar uma resposta é chamado de gradientes ascendente, escalada ou subida de encosta, ou hill-climbing.

Hill-climbing sempre encontra a melhor resposta se: a) a função sendo explorada é suave; b) os valores iniciais das variáveis colocam você na encosta da montanha mais alta. Se uma dessas condições não for atendida, a escalada levará a uma solução local em vez de global.

Os problemas altamente não lineares, que ocorrem muito na prática, apresentam muitas soluções ao longo de uma paisagem complicada. Se um problema tem muitas variáveis ou as fórmulas envolvidas têm muitas distorções ou saltos, a melhor resposta provavelmente não será encontrada com hill-climbing, mesmo tentando centenas de vezes com valores diferentes de posição inicial. É bem provável que será encontrada uma solução sub-ótima e local (veja figura abaixo).

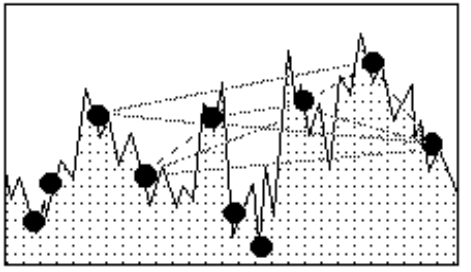


Hill-climbing encontra o local ótimo, mas não o global.



Dados com distorções: o método hill-climbing não é eficaz, mesmo com múltiplas tentativas.

O RISKOptimizer e o Evolver não usam o método Hill-Climbing. Em vez disso, eles usam métodos de otimização global estocásticos: o mecanismo OptQuest e Algoritmo Genético. Isso permite que o RISKOptimizer "salte" pelo espaço de soluções de um problema, examinando muitas combinações de valores de inputs, sem ficar paralisado em soluções ótimas locais. Esses métodos retêm na memória do computador as informações sobre as soluções tentadas anteriormente, que são usadas depois para melhor prever os cenários com maior probabilidade de sucesso.



O Evolver gera muitos cenários possíveis; depois, refina a busca baseado nas informações que recebe.

Problemas baseados em tabelas

Muitos problemas requerem o uso de tabelas e bancos de dados. Por exemplo, na escolha de quantidades de materiais a comprar, você pode ter que verificar os preços cobrados por diferentes quantidades.

Tabelas e bancos de dados tornam os problemas descontínuos (não suaves). Isso torna difícil para as rotinas de Hill-Climbing, como as do algoritmo GRG do Solver, encontrar soluções ótimas. O Excel 2010 também oferece, adicionalmente, o método de solução Evolutionary para otimização não suave. Desde que foram lançados, o Evolver e o RISKOptimizer oferecem o método Evolucionário/Genético para processar problemas não suaves. Na versão 6, foi acrescentado o mecanismo de otimização OptQuest para oferecer métodos avançados de otimização não suave. Além disso, com os produtos Palisade o usuário não precisa identificar o problema como não suave; os métodos de otimização do software da Palisade funcionam bem tanto para problemas suaves como não suaves (ao contrário da opção padrão do GRC).

Problemas combinatórios

Há uma categoria grande de problemas que são muito diferentes dos problemas numéricos examinados até agora. Chamamos de problemas combinatórios aqueles em que os outputs envolvem alteração na ordem das variáveis de inputs existentes, ou agrupamento de subconjuntos dos inputs. Esses problemas em geral são muito difíceis de resolver, porque muitas vezes requerem um tempo exponencial, isto é, ou seja, o tempo necessário para um problema com 4 variáveis pode ser 4 x 3 x 2 x 1, e se o número de variáveis for dobrado para 8, o tempo de solução passa a ser 8 x 7 x 6 x 5 x 4 x 3 x 2 x 1, ou um fator de 1.680. O número de variáveis dobra, mas o número de possíveis soluções aumenta 1.860 vezes. Por exemplo, escolher a escalação de início da partida de um time de beisebol é um problema combinatório. Para 9 jogadores, você pode escolher um dentre os nove para ser o primeiro rebatedor. Você então pode escolher um dos 8 restantes como segundo batedor, um dos 7 restantes como terceiro, e assim por diante. Há então 9x8x7x6x5x4x3x2x1 (9 fatorial) formas de escolher uma linha de 9 jogadores. São aproximadamente ***362.880*** ordens distintas. Agora, se você dobrar o número de jogadores, haverá 18 possíveis linhas, ou ***6.402.373.705.000.000*** possíveis opções!

O RISKOptimizer e os algoritmos do Evolver, o Algoritmo Genético e o OptQuest, podem executar buscas inteligentes por meio de permutações possíveis. Isso é muito mais prático do que buscar todas as possibilidades, e é muito mais eficiente do que examinar permutações puramente aleatórias; as subordens de cenários adequados podem ser retidas e usadas para criar cenários ainda melhores.

Algoritmos Genéticos e OptQuest

Introdução **111**
História **111**
Exemplo na biologia **115**
Exemplo digital **117**

Introdução

Desde seu lançamento inicial, o Evolver oferece algoritmos genéticos para a busca de respostas ótimas para modelos. Na versão 6 do Evolver, foi adicionado o mecanismo de otimização OptQuest. Este capítulo fornece informações adicionais sobre algoritmos genéticos e OptQuest.

História

Os primeiros algoritmos genéticos foram desenvolvidos no início dos anos 1970 por John Holland, da Universidade de Michigan. Holland estava impressionado com a facilidade que os sistemas biológicos tinham para executar tarefas que enganavam até os mais poderosos supercomputadores; animais podem reconhecer objetos sem falha, entender e traduzir sons, e navegar por um ambiente dinâmico quase instantaneamente.

Durante décadas, os cientistas prometeram replicar estas capacidades em máquinas, mas começamos a reconhecer quão difícil é esta tarefa. A maior parte dos cientistas concorda que qualquer sistema biológico que exibe tais qualidades evoluiu até este ponto.

Teoria da Evolução

A Evolução, de acordo com a Teoria de mesmo nome, produziu sistemas com capacidades fantásticas, através de elementos relativamente simples e que se replicam seguindo algumas simples regras:

1) A Evolução ocorre no nível do cromossomo. O organismo não evolui, mas serve como um corpo de prova em que os genes são carregados e passados adiante. São os cromossomos que estão em mudança dinâmica com o rearranjo dos genes.

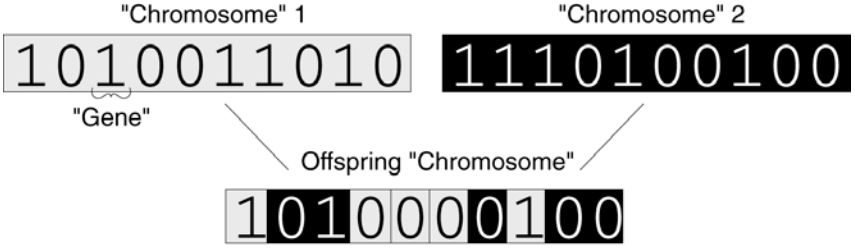
2) A Natureza tende a fazer mais cópias de cromossomos que produzem um organismo melhor, mais "adaptado". Se um organismo sobrevive durante o tempo suficiente e é saudável, seus genes têm maior probabilidade de ser passados a uma nova geração através da reprodução. Este princípio é em geral referido como a "sobrevivência do mais apto". Lembre-se que "mais apto" é um termo relativo; um organismo só precisa ser mais apto em comparação com os outros na população atual para obter "sucesso".

3) A Diversidade deve ser mantida na população. Mutações aparentemente aleatórias ocorrem frequentemente na natureza para assegurar a variação nos organismos. Estas mutações genéticas em geral resultam em uma capacidade útil e vital para a sobrevivência de uma espécie. Com um maior intervalo de combinações possíveis, uma população também é menos suscetível a fraquezas comuns que

poderiam destruir a todos (vírus, etc.) ou outros problemas associados à reprodução na ausência de diversidade.

Uma vez que a evolução foi dividida nestes elementos fundamentais, fica mais fácil aplicar estas técnicas no mundo computacional, e efetivamente começar a mover na direção de máquinas mais fluidas e comportamentos mais naturais.

Holland começou a aplicar estas propriedades de evolução a sequências de números simples que representavam cromossomos. Primeiro, ele codificou os problemas em sequências binárias (linhas de 0s e 1s) para representar os cromossomos, e fez com que o computador gerasse muitas destas sequências de bits para formar uma população completa das mesmas. Uma função objetivo foi programada para avaliar e ordenar cada sequência, e as sequências que foram consideradas mais "adaptadas" ou aptas começaram a trocar dados com outras através de uma rotina de crossover para gerar "filhos". Holland até submeteu seus cromossomos digitais a um operador de "mutação" para manter a diversidade na população. Esta função objetivo substituiu o papel da morte no mundo biológico, determinando que sequências eram boas o suficiente para continuar gerando indivíduos ("filhos") e quais não valia mais a pena manter na memória.



O programa manteve um determinado número destes "cromossomos" na memória e esta população inteira de sequências continuou a evoluir até maximizar a função objetivo. O resultado foi então decodificado em seus valores originais para revelar a solução. John Holland continua a ser um pioneiro ativo nesse campo, atraindo o que hoje são centenas de cientistas e acadêmicos que devotaram a maior parte do seu tempo a esta promissora alternativa a técnicas matemáticas e estatísticas de programação linear tradicional.

O algoritmo genético original de Holland era bem simples, mas notadamente robusto, encontrando soluções ótimas para uma grande variedade de problemas. Muitos programas customizados hoje em dia resolvem problemas complexos e reais de grande escala usando versões ligeiramente modificadas desse algoritmo genético original.

Adaptações modernas de algoritmos genéticos

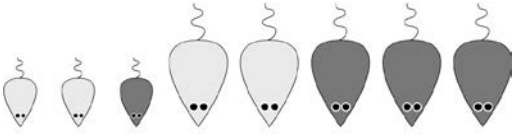
À medida que o interesse aumentou nos círculos acadêmicos, o poder computacional começou a aumentar nos computadores desktop, e padrões como o Microsoft Windows e o Excel tornaram o design e manutenção de modelos complexos mais fácil. O uso de números reais em vez de representações de sequências binárias eliminou a tarefa difícil de codificar e decodificar cromossomos.

A popularidade do algoritmo genético está aumentando de forma exponencial atualmente, com seminários, livros, artigos em revistas e consultores reconhecidos surgindo em todo o mundo. A Conferência Internacional de Algoritmos Genéticos já está se concentrando em aplicações práticas, um sinal de maturidade que não ocorre em outras tecnologias de "inteligência artificial". Muitas empresas Fortune 500 empregam algoritmos genéticos regularmente para resolver problemas reais, desde seguradoras até usinas geradoras de energia, empresas de telecomunicação, redes de restaurantes, fabricantes de automóvel e redes de televisão. De fato, há uma boa chance de que você já tenha indiretamente usado um algoritmo genético!

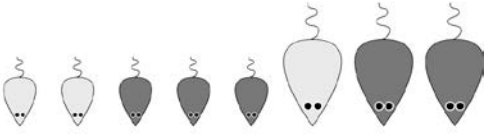
Exemplo na biologia

Vamos examinar um exemplo simples de evolução no mundo biológico (em uma escala pequena). Por "evolução" aqui entendemos a mudança na distribuição ou frequência dos genes em uma população. Evidentemente, o interessante sobre a evolução é que tende a levar a populações que constantemente se adaptam aos seus ambientes.

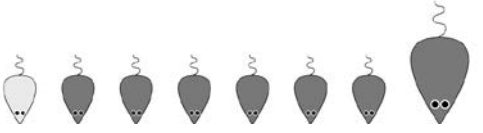
Vamos supor que estejamos estudando uma população de camundongos. Estes camundongos são de dois tamanhos, pequeno e grande, e duas cores, claro e escuro. Nossa população é composta dos oito camundongos abaixo:



Um certo dia, aparecem gatos na vizinhança e começam a comer os camundongos. No entanto, os camundongos pequenos e escuros são mais difíceis para os gatos encontrarem. Assim, os camundongos diferentes possuem diferentes chances de evitar os gatos até terem tempo suficiente de se reproduzir. Isto afeta a natureza da próxima geração de camundongos. Pressupondo que os camundongos mais velhos morrem logo após reproduzirem, a próxima geração de camundongos será aproximadamente assim:



Note que os camundongos grandes e os camundongos claros, e especialmente os grandes e claros têm dificuldade para sobreviver o tempo suficiente a ponto de se reproduzirem. Isto continua para a próxima geração.

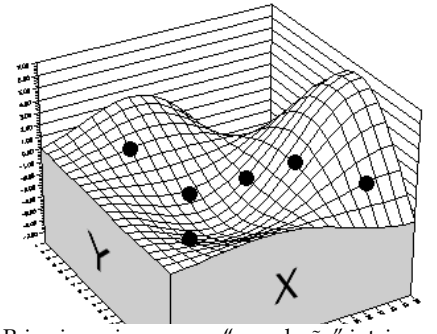


Agora a população consiste principalmente de camundongos pequenos e escuros, porque estes camundongos são mais ajustados para sobreviver neste ambiente do que os outros tipos de camundongos. De forma similar, os gatos começam a ficar mais famintos porque há menos camundongos para comer e talvez os gatos que prefiram comer grama sejam melhor adaptados e passem seu gene de amor-pela-grama para uma nova geração de gatos. Este é o conceito central da "sobrevivência do mais apto". Mais precisamente, poderia ser melhor colocado como "sobrevivência até a reprodução". Em termos de evolução, ser o solteiro mais saudável na população é inútil, uma vez que você precisa se reproduzir para os seus genes influenciarem futuras gerações.

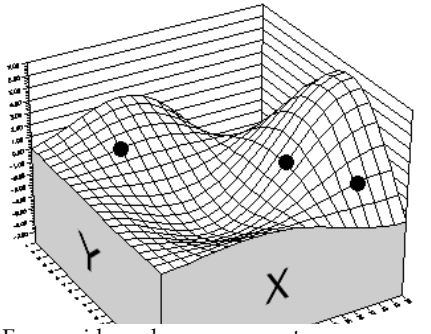
Exemplo digital

Imagine um problema com duas variáveis, X e Y, que resultam em uma variável Z. Se calcularmos e plotarmos o Z resultante para cada possível valor de X e Y, veríamos a "paisagem" de solução aparecer (como discutido também no capítulo Otimização). Como estamos buscando o máximo "Z", os picos da função são "boas" soluções e os vales são "más" soluções.

Quando usamos um algoritmo genético para maximizar a função, começamos criando aleatoriamente várias possíveis soluções ou cenários (pontos pretos), não apenas um ponto inicial. Então calculamos o output da função e plotamos cada cenário como um ponto. Em seguida ordenamos os cenários por altitude, do melhor para o pior, mantendo os da parte superior, e descartando os demais.



Primeiro, criamos uma "população" inteira de soluções possíveis. Algumas serão melhores (mais altas) que outras.

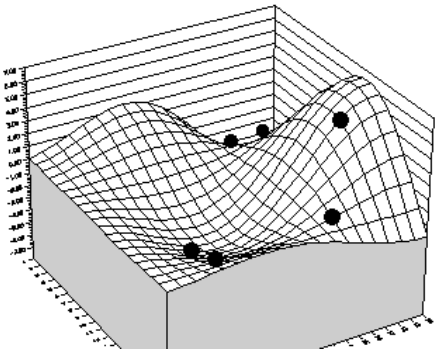


Em seguida, ordenamos e mantemos as soluções que geram melhores resultados.

Cada um dos três cenários remanescentes se duplica, aumentando o número de cenários para seis. Agora vem a parte interessante: Cada um dos seis cenários é feito de dois valores ajustáveis (plotados como uma coordenada X e Y). Os cenários são reunidos em pares aleatoriamente. Agora cada cenário troca o primeiro valor ajustável com o correspondente de seu "parceiro". Por exemplo:

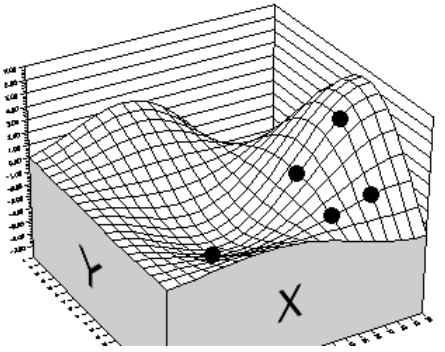
	Antes	Depois
Cenário 1	3,4; 5,0	2,6; 5,0
Cenário 2	2,6; 3,2	3,4; 3,2

Esta operação é chamada crossing over, ou ***crossover***. Quando esses seis cenários se acasalam aleatoriamente e fazem crossover, podemos obter um novo conjunto de cenários como o seguinte:



No exemplo acima, presumimos que os três cenários originais, a, b e c, se acasalaram com suas duplicatas A, B e C, para formar os pares aB, bC, bA. Estes pares trocaram valores da primeira célula ajustável, o que é equivalente em nosso diagrama a alternar as coordenadas x e y entre pares de pontos. A população de cenários viveu uma inteira geração, com seu ciclo de "morte" e "nascimento".

Note que alguns dos novos cenários resultam em menor output (altitude inferior) do que qualquer um da geração original. No entanto, um cenário subiu a colina mais alta, indicando progresso. Se deixarmos a população evoluir por outra geração, poderemos ver uma cena como a seguinte:



É possível verificar como a performance média da população de cenários melhora com relação à geração anterior. Neste exemplo, não há muito espaço para melhoria adicional. Isto porque só há dois genes por organismos, seis organismos e nenhuma forma pela qual novos genes podem ser criados. Isto significa que há um ***pool genético*** reduzido**.** O pool genético é o conjunto de todos os genes de todos os organismos na população.

Algoritmos genéticos podem ser tornados muito mais poderosos pela replicação da inerente força da evolução no mundo biológico; aumentar o número de organismos em uma população e permitir mutações ocasionais e aleatórias. Além disso, podemos escolher cenários que viverão e se reproduzirão de uma forma natural: com um elemento aleatório que possui um leve viés na direção de uma melhor performance, em vez de escolher apenas os melhores elementos para procriar (até o maior e mais forte leão pode ser atingido por um raio)!

Todas estas técnicas estimulam o refinamento genético e ajudam a manter a diversidade na coletividade de genes, mantendo todos os tipos de genes disponíveis para o caso em que se tornem úteis em diferentes combinações. O Evolver implementa automaticamente todas estas técnicas.

OptQuest

Introdução

O mecanismo OptQuest inclui meta-heurística para guiar sua busca de melhores soluções. Este método "lembra" quais soluções funcionam bem e as reutiliza para encontrar novas e melhores soluções. Essa técnica também não se limita a soluções locais nem se deixa confundir por "ruídos" nos dados de modelo (incerto). O mecanismo OptQuest reúne busca Tabu, pesquisa de dispersão, programação de inteiros e redes neurais em um único algoritmo de otimização, oferecendo máxima eficiência na identificação de novos cenários.

Restrições lineares

O OptQuest gera soluções que, na maioria das vezes, atendem todas as restrições lineares especificadas e economizam tempo, por desconsiderarem soluções inválidas. (Ocasionalmente o OptQuest pode gerar uma solução que não atende a uma restrição linear, visto que os computadores não processam cálculos com precisão infinita. Nesses casos, a solução é exibida como inválida nos registros do Evolver.)

O exemplo **Padaria** demonstra o processamento de restrições lineares pelo OptQuest. Duas das três restrições são lineares, e todas as soluções geradas pelo OptQuest atendem a essas duas restrições. Por outro lado, a restrição "Total aceitável de horas de trabalho" é não linear, e não é atendida por algumas das soluções geradas.

Restrições não lineares

As restrições não lineares são processadas com eficiência pelo OptQuest, inclusive as situações nas quais os valores originais das células ajustáveis são inválidos (não atendem às restrições especificadas). O Algoritmo Genético geralmente requer que os valores originais das células ajustáveis atendam às restrições. Se a solução original for inválida, a ferramenta "Solver de restrições" encontra uma solução válida, fornecendo um ponto de partida para a otimização que usa o algoritmo genético. O OptQuest não requer o uso do Solver de restrições. Se a solução original for inválida, o OptQuest poderá iniciar a otimização gerando uma sequência de soluções inválidas. Entretanto, durante este estágio ele coleta informações sobre como cada solução deixa de atender as restrições, visando a encontrar soluções válidas.

Recursos Adicionais do Evolver

Como inserir restrições **125**

Restrições de intervalo **126**
Restrições rígidas (hard) – personalizadas **127**
Restrições flexíveis (soft) **128**
Funções de penalidade **128**
Como visualizar as penalidades aplicadas **130**
Mais exemplos de funções de penalidade **131**
Como usar funções de penalidade **132**
Problemas com múltiplas metas **133**

Como aumentar a velocidade **134**

Como o Evolver efetua a otimização com o algoritmo genético **135**

Seleção **135**
Crossover **136**
Substituição **137**
Restrições **137**

Como inserir restrições

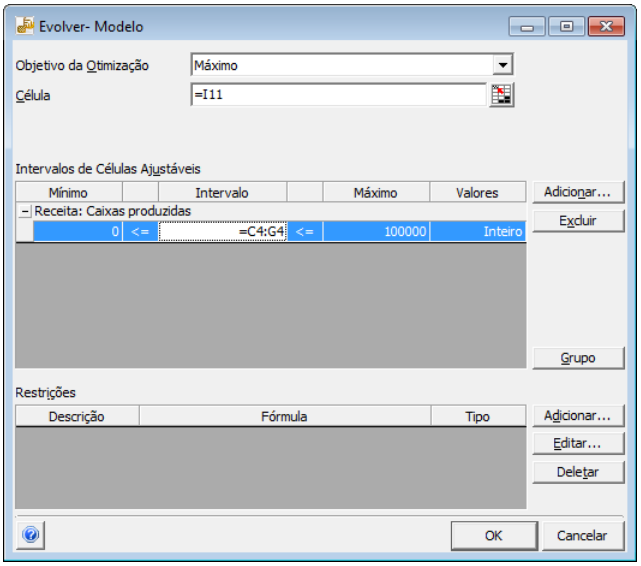
No mundo real, os problemas geralmente apresentam uma série de restrições que precisam ser atendidas ao procura respostas ótimas. No exemplo da Padaria apresentado no tutorial, há uma restrição que especifica o número máximo de horas de trabalho disponíveis.

Um cenário que atende a todas as restrições de um modelo é referido como uma solução viável ou "válida". Às vezes é difícil encontrar soluções viáveis para um modelo, quanto mais encontrar uma solução viável ótima. Isso pode acontecer porque o problema é muito complexo e tem apenas algumas restrições viáveis, ou porque o problema foi demasiadamente especificado (há muitas restrições ou há conflitos entre as mesmas) e não há soluções viáveis.

Há três tipos básicos de restrições: restrições de ***intervalo***, ou intervalos mín-máx inseridos nas células ajustáveis; restrições ***rígidas (hard)*** que sempre precisam ser atendidas; e restrições ***flexíveis (soft)*** que devem ser atendidas na medida do possível, mas que estamos dispostos a trocar por uma melhoria substancial no grau de adequação da solução.

Restrições de intervalo

As restrições rígidas mais simples são aquelas que são inseridas nas próprias variáveis. Ao configurar um certo intervalo para cada variável, podemos limitar o número total de soluções possíveis que o Evolver irá buscar, resultando numa busca mais eficiente. Insira valores Mín e Máx na seção Intervalos de células ajustáveis da janela Modelo para informar ao Evolver que intervalos de valores são aceitáveis para cada variável.



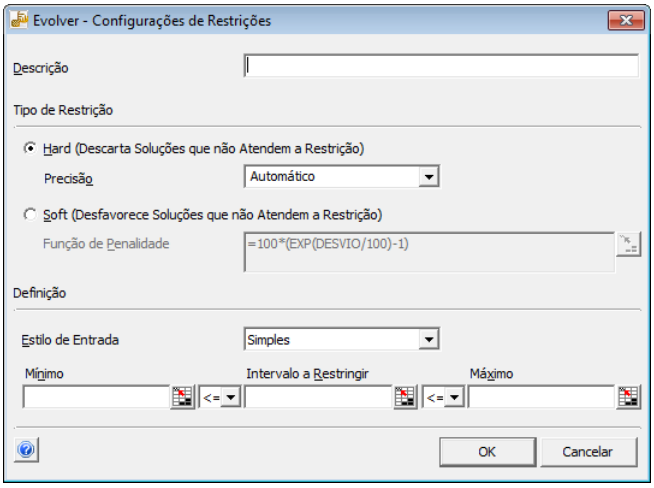
O Evolver experimentará apenas valores entre 0 e 50.000 para as células especificadas.

Um segundo tipo de restrição inserida nas variáveis é inerente a cada um dos métodos de solução do Evolver (receita, ordem, agrupamento, etc.). Por exemplo, quando ajustamos variáveis usando o método de orçamento, significa que o Evolver está restrito de forma rígida a testar apenas conjuntos de valores com o total da mesma quantia. O método de solução por agrupamento restringe o Evolver a usar somente os valores contidos na lista especificada de IDs de grupos. Da mesma forma que nas restrições de intervalos, esta restrição rígida também reduz o número de cenários possíveis que devem ser procurados.

As opções Inteiro e Discreto na caixa de diálogo Modelo também são restrições rígidas; por exemplo, podemos instruir o Evolver a testar apenas valores inteiros (1, 2, 3 etc.) em vez de números reais (1.34, 2.034, etc.) ao ajustar os valores das variáveis.

Restrições rígidas (hard) – personalizadas

Qualquer restrição que esteja fora das restrições de variáveis do Evolver pode ser inserida usando a caixa de diálogo Configurações de restrições.



O *Evolver* não gera soluções que não atendem às restrições de intervalo e de outras variáveis. Por outro lado, o Evolver pode gerar soluções que não atendem a restrições personalizadas. Nesse caso, a solução precisa ser avaliada antes de ser descartada como inválida. Contudo, com o mecanismo OptQuest, todas as restrições lineares são processadas como restrições de intervalos de variáveis. Não são geradas soluções que não atendem determinada restrição. Uma restrição que especifica uma soma fixa de um grupo de células ajustáveis é um exemplo de restrição linear. Ela corresponde à restrição integrada no método de solução Orçamento. Isso significa que em vez de usar o método Orçamento, o usuário pode escolher o método Receita e especificar uma restrição linear adequada.

Restrições flexíveis (soft)

Forçar um programa a encontrar apenas soluções que atendem a todas as restrições pode resultar em não encontrar nenhuma solução viável. Em geral, é mais útil obter soluções aproximadamente viáveis, entre as quais talvez algumas soluções não atendam às restrições.

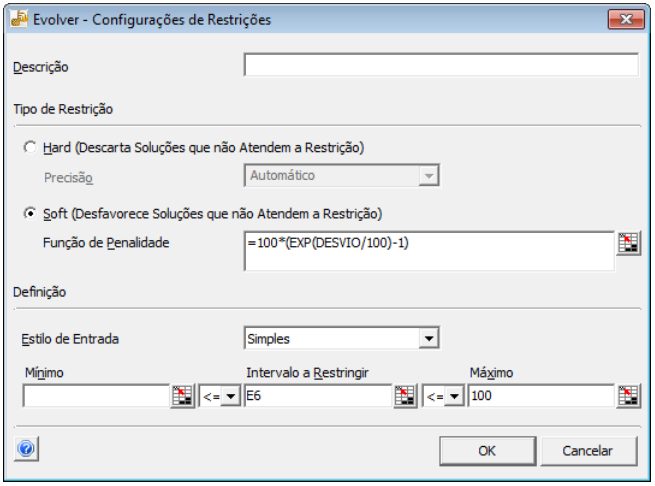
Uma alternativa ao uso de restrições rígidas que devem ser necessariamente atendidas é reconfigurar o problema com restrições flexíveis, isto é, restrições que o Evolver ***tenderá a atender***. Essas restrições flexíveis geralmente são mais realistas e permitem que o Evolver experimente um número muito maior de alternativas. No caso de um problema altamente restrito (em que não há muitas soluções que atendam todas as restrições), o algoritmo genético do Evolver terá maior probabilidade de encontrar a melhor solução, se puder obter informações sobre algumas soluções que estão *próximas* de satisfazer as restrições. (Essas considerações geralmente não se aplicam se o mecanismo de otimização OptQuest for usado. A diferença consiste em como os dois algoritmos tratam soluções inválidas, isto é, soluções que não atendem às restrições rígidas. Geralmente, o OptQuest explora e utiliza essas soluções eficazmente, sem necessidade de usar restrições flexíveis.

Quando as restrições representam metas, como "produzir duas vezes mais garfos do que facas", em geral não é tão importante atendê-las exatamente, especialmente se a obtenção de um cronograma de produção perfeitamente balanceado requerer um processo de otimização que leve um dia inteiro. Nesse caso, uma boa solução para o problema, que *quase* atende à restrição (produção de 40% garfos, 23% facas, 37% colheres), geralmente é melhor do que esperar o dia inteiro para saber que talvez não haja nenhuma solução, porque não há possibilidade de atender a *todas* as restrições.

Funções de penalidade

Restrições flexíveis podem ser facilmente inseridas no Excel com o uso de ***funções de penalidade***. Em vez de instruir o Evolver a que absolutamente não use certos valores quando estiver buscando soluções, você pode permitir que esses valores "inválidos" sejam explorados, mas penalizando estas soluções. Por exemplo, suponhamos que o problema seja encontrar a forma mais eficiente de distribuir mercadorias com a restrição de que só podem ser usados três caminhões. Um modelo mais exato incluiria uma função de penalidade que permitira usar mais caminhões, mas adicionaria um custo significativo ao resultado. As funções de penalidade podem ser especificadas na caixa de diálogo Configurações de restrições, ou inseridas diretamente no modelo por meio de fórmulas que representem as funções de penalidade.

Como inserir uma função de penalidade

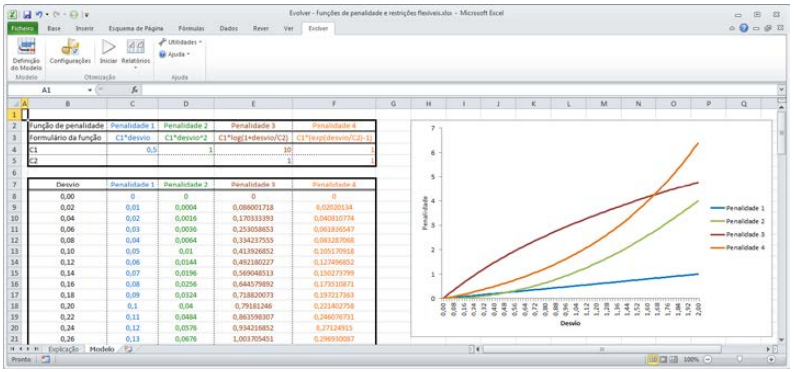


O Evolver tem uma função penalidade padrão que é exibida quando você insere inicialmente uma restrição flexível. Mas qualquer fórmula válida do Excel pode ser inserida para calcular a quantidade de penalidade a ser aplicada quando a restrição flexível ou soft não é atendida. Uma função de penalidade inserida deve incluir a palavra-chave *desvio*, que representa a quantidade absoluta pela qual a restrição ultrapassou o limite. No final de cada simulação de uma solução teste, o Evolver verifica se a restrição flexível foi atendida; se não foi, ele insere a quantidade de desvio na fórmula da função de penalidade e, em seguida, calcula o valor da penalidade a ser aplicada na estatística de simulação da célula-alvo que está sendo minimizada ou maximizada.

O valor da penalidade pode ser tanto subtraído quanto somado à estatística calculada para a célula-alvo, de forma a torná-la menos "ótima". Por exemplo, se no campo *Encontrar o,* da caixa de diálogo Modelo do Evolver, foi escolhido *Máximo*, a penalidade será subtraída da estatística calculada para a célula-alvo.

Como visualizar os efeitos de uma função de penalidade inserida

O Evolver inclui uma planilha Excel chamada **Evolver - Funções de penalidade e restrições flexíveis.xlsx** (ou **.xls**) que pode ser usada para avaliar os efeitos de diferentes funções de penalidade em restrições flexíveis específicas e em resultados de células-alvo.



A planilha **Evolver - Funções de penalidade e restrições flexíveis.xlsx** permite que você selecione uma restrição flexível do modelo, cujos efeitos deseja analisar. Você pode então alterar a função de penalidade para ver como a função irá mapear um valor específico de uma restrição flexível não atendida em um valor para a célula-alvo. Por exemplo, se a restrição flexível é A10<100, você pode usar a planilha **Evolver - Funções de penalidade e restrições flexíveis.xlsx** para verificar qual seria o valor do alvo se um valor de 105 fosse calculado para a célula A10.

Como visualizar as penalidades aplicadas

Quando uma penalidade é aplicada para uma célula-alvo devido a uma restrição flexível não atendida, a quantidade de penalidade aplicada pode ser visualizada no Observador do Evolver. Além disso, os valores de penalidade são exibidos nas planilhas de Registro de otimização, criadas opcionalmente após a otimização.

Como inserir restrições flexíveis em uma planilha

As funções de penalidade também podem ser inseridas diretamente na planilha. Uma função de penalidade booleana associará uma dada penalidade a qualquer cenário que não atenda a restrição especificada. Por exemplo, se quiser que o valor da célula B1 (oferta) seja igual a ou maior que o valor da célula A1 (demanda), você pode criar esta função penalidade em outra célula: *=SE(A1>B1, -1000, 0)*. Se o resultado dessa célula for adicionado à estatística da célula-alvo, toda vez que o Evolver experimentar uma solução que viole esta restrição (ou seja, a oferta não atende a demanda), a estatística da célula-alvo que está sendo maximizada indicaria um valor de 1000 abaixo do resultado real. Qualquer solução que viole esta restrição produziria um valor inferior na estatística da célula-alvo, e eventualmente o Evolver eliminaria esses organismos.

Você também pode usar uma função de penalidade de escala, que penaliza de forma mais precisa cada solução com base em quanto ela viola a restrição. Isto é muito prático em problemas reais, porque uma solução em que a oferta não atende a demanda por uma diferença pequena seria melhor que uma solução na qual a oferta nem chegou perto da demanda. Uma função de penalidade de escala simples calcula a diferença absoluta entre o valor da meta da restrição e o seu valor real. Por exemplo, no mesmo problema em que A1 (demanda) não deve exceder B1 (oferta), poderíamos associar a seguinte função de penalidade: *=SE(A1>B1;(A1-B1)^2;0)*. Esse tipo de função de penalidade mede quão próxima a restrição está de ser atendida, e exagera essa diferença através de seu quadrado. Agora nossa penalidade se altera com base na medida em que a solução viola a restrição.

Mais exemplos de funções de penalidade

Por exemplo, suponha que você criou um modelo de uma fábrica em que uma das restrições é que a quantidade de madeira usada deve ser igual à quantidade de plástico usada. Esta restrição é atendida quando "QtdMad" = "QtdPlast". Desejamos encontrar soluções que incluam a mesma quantidade de ambos os materiais, então criamos uma função de penalidade para desencorajar soluções que se desviem de nossa meta. A fórmula "=ABS(QtdMad-QtdPlast)" computa a diferença absoluta (não-negativa) entre a quantidade de madeira e de plástico sendo usada. Empregando a função aBS(), chegamos à mesma penalidade se QtdMad for 20 unidades maior que QtdPlast ou se QtdPlast for 20 unidades maior que QtdMad. Quando otimizamos o modelo, nossa meta é minimizar a média dos resultados da simulação para esta diferença absoluta.

Suponha que impusemos a seguinte restrição: a quantidade de madeira deve ser o dobro da quantidade de plástico. A função de penalidade seria então:

=ABS(QtdMad-QtdPlast*2)

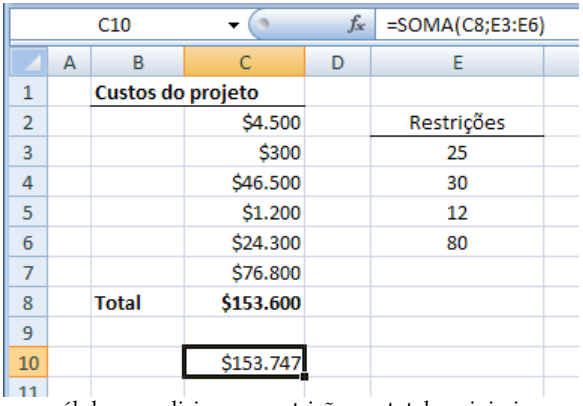
Uma outra restrição possível é que a quantidade de madeira deve ser ***não mais do que*** duas vezes a quantidade de plástico. Enquanto o exemplo anterior produziu uma penalidade se houvesse muita madeira, neste caso apenas há penalidade se não houver madeira suficiente; se QtdMad for dez vezes o valor de QtdtPlast, não queremos que nenhuma penalidade seja aplicada. A função de penalidade adequada seria:

=SE(QtdMad<QtdPlast*2, ABS(QtdPlast*2-QtdMad),0)

Se QtdMad for pelo menos duas vezes maior que QtdPlast, a função de penalidade retorna zero. Caso contrário, fornece uma medida de quão menor que duas vezes QtdPlast é o valor de QtdMad.

Como usar funções de penalidade

Depois de criar funções de penalidade para descrever as restrições flexíveis no modelo, você pode combiná-las com a célula-alvo normal para obter uma fórmula restringida na célula-alvo. No exemplo ilustrado abaixo, se a célula C8 calcula o custo total de um projeto, e as células E3:E6 contêm cinco funções de penalidade, então você pode criar uma fórmula na célula C10 tal como =SOMA(C8, E3:E6).



Criar uma célula que adiciona as restrições ao total e minimizar a média dos resultados da simulação para esta célula.

Isto adiciona as penalidades na coluna E ao custo em C8 para obter uma função penalizada ou restringida em C10. Note que se este fosse um problema de maximização, você subtrairia, ao invés de adicionar, as penalidades à célula-alvo original. Agora quando utilizar o Evolver, você simplesmente selecionará a célula restringida, C10, como a célula-alvo a ser aquela cuja estatística de simulação será otimizada.

Quando o Evolver tenta otimizar uma estatística restringida para uma célula-alvo, as funções de penalidade tenderão a forçar a busca na direção de cenários que atendam as restrições. Eventualmente o Evolver chegará a soluções que são boas respostas e que atendem ou praticamente atendem todas as restrições (as funções penalidade possuirão valores próximos de 0).

Problemas com múltiplas metas

Você só pode especificar uma célula no campo célula-alvo do Evolver, mas ainda pode solucionar múltiplas metas criando uma função que combine duas metas em uma só. Por exemplo, como cientista de polímeros, você pode tentar criar uma substância que é flexível mas também resistente. Seu modelo computa a resistência, flexibilidade e peso resultantes que resultariam de uma dada mistura de combinações químicas. As quantidades de cada produto químico a serem usadas são as variáveis ajustáveis do problema.

Como você deseja maximizar a Resistência da substância (na célula S3) mas também a Flexibilidade (na célula F3), poderia criar uma nova célula com a fórmula: =(S3+F3). Esta seria sua nova célula-alvo, pois quanto maior for este número, melhor a solução geral.

Se a flexibilidade for um componente mais importante que a resistência, poderíamos alterar a fórmula na célula-alvo para =(S3+(F3*2)). Dessa forma, os cenários que aumentassem a flexibilidade em uma certa quantidade pareceriam melhores (produziriam uma "função objetivo" mais alta) que os cenários que aumentassem a força na mesma quantidade.

Se quiser maximizar a Resistência de uma substância (na célula S5) mas também minimizar seu Peso (na célula W5) você criaria uma nova célula com a seguinte fórmula: =(S5^2)-(W5^2). Esta fórmula produziria um número alto quando a estrutura fosse resistente e leve, e números igualmente médios para cenários fracos e leves ou resistentes e pesados. Você deveria usar esta nova célula como seu alvo e maximizar sua média para satisfazer ambas as metas.

Como aumentar a velocidade

Ao usar o Evolver para resolver um problema, você usa tanto a biblioteca de rotinas do Evolver para controlar o processo quanto a função de avaliação do Excel, para examinar diferentes cenários. Uma grande porcentagem do tempo usado pelo Evolver é, na verdade, tempo usado pelo Excel para recalcular a planilha. Há vários procedimentos para acelerar a otimização do Evolver e o processo de recálculo do Excel.

- A velocidade do Evolver é diretamente relacionada à velocidade do processador do computador que está sendo usado. Dobre a velocidade do seu processador e o Evolver terá condições de avaliar o dobro de tentativas no mesmo intervalo de tempo.
- Tente evitar redesenhar na sua tela. Desenhar gráficos e números na tela leva tempo, algumas vezes mais de metade do tempo de otimização! Se a planilha tiver gráficos ou tabelas, a velocidade de recálculo será substancialmente reduzida. Você pode instruir o Excel a não perder tempo desenhando, enquanto o Evolver está solucionando um problema. Para fazer isso, desative a opções "Mostrar recálculos do Excel" na guia Exibir da caixa de diálogo Configurações de otimização, ou selecione "Minimizar Excel no Início", na mesma guia. Observe na barra de progresso o ganho na velocidade de processamento do problema.
- Defina de forma mais restrita os intervalos em que as células ajustáveis deverão cair; isso criará uma área menor na qual o Evolver deverá procurar soluções e, assim, acelerará o processo. Assegure-se de que os intervalos dêem liberdade suficiente para o Evolver explorar todas as soluções realistas.

Como o Evolver efetua a otimização com o algoritmo genético

Esta seção descreve mais especificamente como é efetuada a otimização com o algoritmo genético do Evolver.

NOTA: Você não precisa saber este material para usar o **Evolver**.

A maior parte da tecnologia de algoritmos genéticos do Evolver, como os métodos de solução ***receita*** e ***ordem*** são baseados em trabalhos acadêmicos no campo de algoritmos genéticos nos últimos dez anos. Entretanto, a maior parte dos métodos de solução descendentes incluídos no Evolver e as funcionalidades de múltiplos grupos de células ajustáveis, backtrack, estratégia e probabilidade só existem no Evolver.

O Evolver emprega uma abordagem de "estado-constante". Isso significa que somente um organismo é substituído de cada vez, em vez de uma "geração" ser substituída. Foi demonstrado que esta técnica de estado de equilíbrio funciona tão bem ou melhor que os métodos de substituição de gerações. Para encontrar o número equivalente de "gerações" que o Evolver rodou, divida o número de tentativas individuais exploradas pelo tamanho da população.

Seleção

Quando um novo organismo está prestes a ser criado, são escolhidos dois genitores na população atual. Organismos com a função objetivo mais alta têm maior probabilidade de serem escolhidos como genitores.

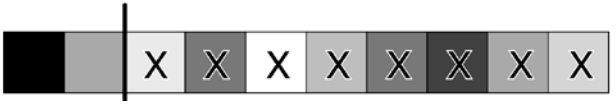
No Evolver, os genitores são escolhidos por meio de um mecanismo baseado na classificação de postos. Ao contrário de outros sistemas de algoritmos genéticos em que a escolha da chance de um pai ser escolhido para reprodução é diretamente ao valor da sua função objetivo, uma abordagem de ranking (ordem de postos) produz uma curva de probabilidade de seleção mais suave. Isso impede que os bons organismos dominem totalmente a evolução desde o começo.

Crossover

Como cada método de solução ajusta as variáveis de formas diferentes, o Evolver emprega uma rotina otimizada de crossover distinta para cada tipo de problema.

O método de solução básico da receita executa crossover por meio de uma rotina uniforme de crossover. Isso significa que em vez de cortar a lista de variáveis de um dado cenário em determinado ponto e lidar com cada ponto (chamado crossover de "ponto único" ou de "ponto duplo"), são formados dois grupos por seleção aleatória de itens para um grupo ou o outro. Crossovers tradicionais de ponto *x* podem produzir viés na busca devido à posição irrelevante das variáveis, enquanto o método de crossover uniforme é considerado melhor por preservar o esquema e poder gerar qualquer esquema a partir dos dois genitores.

População original



Prossover de ponto único – Se ocorrer crossover, um ponto é selecionado aleatoriamente e o organismo é dividido em dois.

Crossover uniforme – Uma dada porcentagem do organismo é selecionada aleatoriamente.

O método de solução "ordem" efetua o crossover através de um algoritmo semelhante ao operador de crossover de ordem descrito no livro *Handbook of Genetic Algorithms* de L. Davies.[*] Ele seleciona itens aleatoriamente de um dos genitores, encontra o seu lugar no outro genitor e copia os itens restantes no segundo genitor, na mesma ordem em que se encontram no genitor original. Isto preserva algumas das sub-ordens dos genitores originais e cria algumas novas subordinações.

[*] Davis, Lawrence (1991). Handbook of Genetic Algorithms. New York: Van Nostrand Reinhold.

Mutação

De forma semelhante ao crossover, os métodos de mutação são customizados para cada método de solução. O método básico de solução "receita" faz a mutação examinando cada variável individualmente. Um número aleatório entre 0 e 1 é gerado para cada variável do organismo, e se a variável obtém um número que é menor ou igual à taxa de mutação (ex.: 0.06), então ocorre mutação nessa variável. A magnitude e tipo da mutação são automaticamente determinados por um algoritmo proprietário. Fazer mutação em uma variável envolve substituí-la por um valor gerado aleatoriamente (dentro do intervalo mín-máx válido).

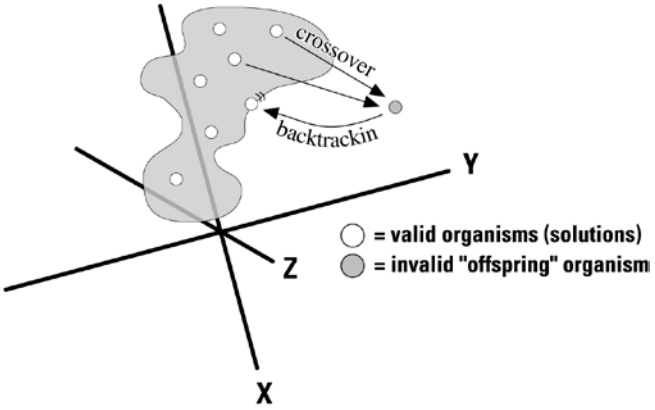
Para preservar os valores originais, o método de solução "ordem" executa a mutação pela alternância de posições de algumas variáveis no organismo. O número de trocas executadas é aumentado ou reduzido proporcionalmente ao aumento e diminuição da configuração da taxa de mutação (entre 0 e 1).

Substituição

Como o Evolver utiliza um método de substituição baseado em ordem, e não um método geracional, os organismos com pior performance são sempre substituídos por um novo organismo, criado por seleção, crossover e mutação, independentemente do valor da "função objetivo".

Restrições

As restrições rígidas (hard) são implementadas por meio da tecnologia de "backtracking" da Palisade. Se um novo indivíduo (filho) infringir alguma restrição imposta externamente, o Evolver retrocede, por backtrack, a um dos genitores do indivíduo e altera o indivíduo até ele se enquadrar no espaço de solução válido.



(valid organisms (solutions) =organismos válidos (soluções)

(invalid "offsprings" organism = organismo-filho inválido)

Anexo A: Automatização do Evolver

O Evolver possui elementos de linguagem de macros para a construção de aplicações customizadas que usam as funcionalidades do Evolver. As funções customizadas do Evolver podem ser usadas no Visual Basic for Applications (VBA) para configurar e rodar otimizações e exibir os resultados correspondentes. Para obter mais informações sobre esta interface de programação, consulte a o material de referência do Kit do Desenvolvedor do Evolver, disponível no menu Ajuda do Evolver.

Anexo B: Perguntas e Respostas

Perguntas e Respostas

Esta seção apresenta respostas a perguntas comuns sobre o Evolver, e fornece informações atualizadas sobre questões usuais, problemas e sugestões. Após ler esta seção, você pode contatar o suporte da Palisade nos números indicados no capítulo inicial deste manual.

P: Por que estou tendo problemas na obtenção de uma resposta válida do Evolver?

R: Verifique se a caixa de diálogo do Evolver está configurada corretamente. A maioria dos problemas relaciona-se à configuração das variáveis. Cada grupo de células ajustáveis deve ser único, ou seja, nenhuma célula ou intervalo de células deve ser processado por mais de um método de solução.

P: O Evolver pode lidar com conceitos ou categorias, em vez de apenas números?

R: O Evolver pode lidar indiretamente com qualquer tipo de dado, pois números são simplesmente símbolos. Use uma tabela de referência do Excel para converter números inteiros em sequências de texto. O Evolver (como todos os programas de computador) em última instância lida apenas com números, mas a sua interface pode usar esses números para representar e exibir qualquer sequência de dados.

P: Embora eu preencha as caixas de diálogo da mesma forma e deixe o Evolver rodar durante o mesmo intervalo de tempo, por que o Evolver às vezes encontra soluções diferentes?

R: Assim como no caso da seleção natural no mundo biológico, o algoritmo genético do Evolver nem sempre segue o mesmo caminho na busca de soluções (a não ser que você use uma semente fixa de geração de números aleatórios). Ironicamente, é esta imprevisibilidade que possibilita que o Evolver solucione mais tipos de problemas e, em geral, encontre soluções melhores do que as técnicas tradicionais. O mecanismo do algoritmo genético do Evolver faz mais do que apenas executar uma série de comandos pré-programados ou obter valores de uma fórmula matemática; ele experimenta eficientemente muitos cenários hipotéticos simultaneamente e, em seguida, refina a busca usando muitos operadores de "sobrevivência do mais apto" que também contêm elementos aleatórios.

Um motivo semelhante pode ser dado no caso do OptQuest, o outro algoritmo de otimização do Evolver. O OptQuest experimenta diferentes soluções possíveis, sempre mantendo controle dos resultados dos experimentos realizados até o momento. O fator aleatório do processo impede que ele volte à solução ótima local (se houver uma solução ótima global melhor).

É possível especificar as configurações que farão com que duas otimizações do Evolver produzam resultados idênticos. Para fazer isso, digite qualquer número inteiro no campo Semente inicial, na guia Exibir da caixa de diálogo Configurações de otimização. Além disso, as condições de parada "Tentativas" ou "Progresso" precisam ser selecionadas na guia Tempo de Execução dessa caixa de diálogo.

P: Por que a melhor solução encontrada não está se alterando?

R: Talvez você tenha especificado a célula-alvo errada na caixa de diálogo Modelo do Evolver. O Evolver está "vendo" esta célula em branco, e o valor não se altera porque não há fórmula. Para corrigir isto, abra a caixa de diálogo Modelo do Evolver e selecione uma célula-alvo adequada, isto é, que indique com exatidão em que medida a solução é adequada ou inadequada. Uma célula-alvo adequada tem uma fórmula que depende, direta ou indiretamente, das variáveis que o Evolver está ajustando (células ajustáveis).

P: Algumas células na minha planilha contêm símbolos "####".

R: Se a célula for muito pequena para exibir todo o conteúdo, ela exibirá vários símbolos ####. Aumente o tamanho da célula.

P: O Evolver está funcionando bem, mas há alguma forma simples de obter melhores resultados?

R: Experimente os dois algoritmos de otimização disponíveis no Evolver: algoritmo genético e OptQuest. Tente executar otimizações com os dois, usando a opção Manual da guia Mecanismo, na caixa de diálogo Configurações de otimização (observe que o relatório de resumo da otimização indica qual algoritmo foi usado). No caso do algoritmo genético, pode-se experimentar diversos valores para a taxa de mutação e diversas seleções de operadores genéticos.

Quanto mais cenários o Evolver puder rodar, melhor. Acelere o processo do Evolver desmarcando a opção "Mostrar recálculos do Excel", ou defina-a como "A cada nova melhor tentativa", na guia Exibir da caixa de diálogo Configurações de otimização.

Anexo C: Recursos Adicionais

Recursos adicionais de aprendizagem

A lista a seguir representa uma amostra seleta de materiais sobre algoritmos genéticos e inteligência artificial. O asterisco (*) indica materiais recomendados para leitura pela Palisade.

Livros

- Bolles, R.C., & Beecher, M.D. (Eds.). (1988). Evolution and Learning. Lawrence Erlbaum.
- Beer, R.D. (1990). Intelligence as Adaptive Behavior: An Experiment in Computational Neuroethology. Academic Press.
- Davis, Lawrence (1987). Genetic Algorithms and Simulated Annealing. Palo Alto, CA: Morgan Kaufman.

* Davis, Lawrence (1991). Handbook of Genetic Algorithms. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Darwin, Charles (1985). On The Origin of Species. London: Penguin Classics. (originally 1859)

* Dawkins, Richard. (1976). The Selfish Gene. Oxford University Press.

- Eldredge, N. (1989). Macroevolutionary Dynamics: Species, Niches, and Adaptive Peaks. McGraw-Hill.
- Fogel, L., Owens, J., and Walsh, J. (1966). Artificial Intelligence through Simulated Evolution. New York: John Wiley and Sons.
- Goldberg, David (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing.
- Holland, J.H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Koza, John (1992). Genetic Programming. Cambridge, MA: MIT Press.

* Langton, C.L. (1989). Artificial Life. MIT Press. [ALife I]

- Levy, Steven (1992). Artificial Life. New York: Pantheon.
- Meyer, J.-A., & S.W. Wilson (Eds.). (1991). Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats. MIT Press/Bradford Books.

* Proceedings of the Sixth International Conference (ICGA) on Genetic Algorithms (1995). San Mateo, CA: Morgan Kaufman Publishing. (Also available; the first five ICGA proceedings).

• Proceedings of the Workshop on Artificial Life (1990). Christopher G. Langton, Senior Editor. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing.

• Rawlins, Gregory (1991). Foundations of Genetic Algorithms. San Mateo, CA: Morgan Kaufman Publishing.

• Richards, R.J. (1987). Darwin and the Emergence of Evolutionary Theories of Mind and Behavior. U. Chicago Press.

• Williams, G.C. (1966). Adaptation and Natural Selection. Princeton U. Press.

Artigos

* Antonoff, Michael (October, 1991). Software by Natural Selection. Popular Science, págs. 70-74.

• Arifovic, Jasmina (January, 1994). Genetic Algorithm Learning and the Cobweb Model. In Journal of Economic Dynamics & Control v18 pág. 3

* Begley, S (May 8, 1995). "Software au Naturel" In Newsweek, pág. 70

• Celko, Joe (April, 1993). Genetic Algorithms and Database Indexing. In Dr. Dobb's Journal pág. 30

• Ditlea, Steve (November, 1994). Imitation of Life. In Upside Magazine pág. 48

• Gordon, Michael (June, 1991). User-based Document Clustering by Redescribing Subject Descriptions with a Genetic Algorithm. In Journal of the American Society for Information Science v42 pág. 311

• Hedberg, Sara (September, 1994). Emerging Genetic Algorithms. In AI Expert, págs. 25-29.

• Hinton, G.E., & Nowlan, S.J. (1987). How Learning Can Guide Evolution. In Complex Systems 1: págs. 495-502.

* Kennedy, Scott (June, 1995). Genetic Algorithms: Digital Darwinism. In Hitchhicker's Guide to Artificial Intelligence Miller Freeman Publishers

• Kennedy, Scott (December, 1993). Five Ways to a Better GA. In AI Expert, págs. 35-38

• Lane, A (June, 1995). The GA Edge in Analyzing Data. In AI Expert pág. 11

• Lee, Y.C. (Ed.). (1988). Evolution, learning, and cognition. In World Scientific.

• Levitin, G and Rubinovitz, J (August, 1993). Genetic Algorithm for Linear and Cyclic Assignment Problem. In Computers & Operations Research v20 pág. 575

- Marler, P., & H.S. Terrace. (Eds.). (1984). The Biology of Learning. Springer-Verlag.
- Mendelsohn, L. (December, 1994) Evolver Review In Technical Analysis of Stocks and Commodities. pág. 33
- Maynard Smith, J. (1987). When Learning Guides Evolution. In Nature 329: págs. 761-762.
- Murray, Dan (June, 1994). Tuning Neural Networks with Genetic Algorithms. In AI Expert pág. 27
- Wayner, Peter (January, 1991). Genetic Algorithms: Programming Takes a Valuable Tip from Nature. Byte Magazine v16 pág. 361

Revistas e newsletters

- Advanced Technology for Developers (newsletter mensal). Jane Klimasauskas, Ed., High-Tech Communications, 103 Buckskin Court, Sewickley, PA 15143 (412) 741-7699
- AI Expert (monthly magazine). Larry O'Brien, Ed., 600 Harrison St., San Francisco, CA 94107 (415) 905-2234. *Embora AI Expert não seja mais publicada desde o primeiro semestre de 1995, os números antigos contêm muitos artigos úteis. Miller-Freeman, San Francisco.
- Applied Intelligent Systems (newsletter bi-mensal). New Science Associates, Inc. 167 Old Post Rd., Southport, CT 06490 (203) 259-1661
- Intelligence (monthly newsletter). Edward Rosenfeld, Ed., PO Box 20008, New York, NY 10025-1510 (212) 222-1123
- PC AI Magazine (revista mensal). Joseph Schmuller, Ed., 3310 West Bell Rd., Suite 119, Phoenix, AZ 85023 (602) 971-1869
- Release 1.0 (newsletter mensal). Esther Dyson, Ed., 375 Park Avenue, New York, NY 10152 (212) 758-3434
- Sixth Generation Systems (newsletter mensal). Derek Stubbs, Ed., PO Box 155, Vicksburg, MI, 49097 (616) 649-3592

Glossário

Para obter mais informações sobre um termo específico, consulte o índice remissivo no próximo capítulo.

Algoritmo Método matemático passo a passo para a solução de certos tipos de problemas. Todos os programas de computadores são construídos com base na combinação de muitos algoritmos.

Algoritmo genético Um procedimento para melhorar os resultados de uma operação por meio de repetidas tentativas de várias soluções possíveis e da reprodução e combinação dos componentes das melhores soluções. O processo é muito semelhante e é inspirado no processo de evolução biológica, em que os organismos mais aptos sobrevivem e se reproduzem.

Algoritmo Hill-Climbing Um procedimento de otimização que começa com um dado cenário e repetitivamente altera o cenário em pequenos passos na direção que mais irá melhorá-lo. Algoritmos Hill-Climbing ou (também referidos como "subida de encosta" ou gradientes ascendente) são rápidos e simples, mas apresentam duas desvantagens. Primeiro, podem exigir muito trabalho para encontrar a direção de maior melhoria. Segundo, os algoritmos em geral "escalam" o morro mais próximo, ou o máximo local. Isto impede o algoritmo de encontrar o máximo global em um problema difícil.

Baby Solver Termo de gíria de informática que se refere a programas de software que encontram inputs que produzem um output desejado, usando uma combinação de técnicas de programação linear ou algoritmos básicos do tipo hill-climbing. Geralmente, os "baby solvers" simplesmente iniciam seu processo com um "chute" que, em seguida, é refinado até chegar a uma solução "local", em vez de uma solução "global".

Barra de status A barra de status aparece na parte inferior da janela do Excel e mostra a atividade atual do Evolver.

Caixa de diálogo A janela na tela do computador que requer que o usuário forneça informações. Também chamada de caixa de diálogo. O Evolver contém duas caixas de diálogo principais: Modelo do Evolver e Configurações de otimização.

Campo Unidade básica para entrada de dados. Dependendo do tipo de campo, ele pode conter texto, figuras ou números. A maior parte dos campos nas caixas de diálogo do Evolver solicita ao usuário que insira a localização de células da planilha ou opções relacionadas a como o Evolver deve funcionar.

Célula Célula é a unidade básica de uma planilha na qual os dados são armazenados.

Célula ajustável Uma célula de planilha cujo valor pode ser ajustado pelo Evolver para tentar otimizar o valor da célula-alvo. Uma célula ajustável é um valor variável e sempre deve conter um número simples, e não uma equação.

Célula-alvo A célula da planilha cujos valores desejamos minimizar ou maximizar. Esta célula é definida na caixa de diálogo Modelo do Evolver (selecione o comando Definição do modelo ou o ícone Modelo).

Cenário Um conjunto de valores para as variáveis em um modelo planilha. Geralmente, cada cenário representa uma solução possível.

Crossover Em um contexto genético, *crossing over* é uma troca de material genético entre cromátides homólogos durante a meiose. No Evolver, o termo crossover é usado para expressar o equivalente computacional ao *crossing over*, em que uma troca entre as variáveis gera novas combinações de cenários.

Estocástico

Sinônimo de incerto, arriscado.
Consulte Risco; Determinístico.

Fenótipos

Em biologia, fenótipo é uma característica observável de um indivíduo, produzida pela interação entre genes e entre os genes e o meio ambiente. No estudo de algoritmos genéticos, o fenótipo é usado para descrever variáveis individuais ou "genes" que compõem uma solução completa ou "cromossomo".
Consulte Genótipo.

Função de Penalidade

Uma equação em planilha que o Evolver pode usar para penalizar cenários que não atendem determinados critérios. Funções de penalidade são usadas para ajudar a minimizar efeitos colaterais ou para alcançar múltiplas metas. Diferentemente de uma restrição rígida, uma função de penalidade permite que soluções inválidas sejam exploradas, mas faz com que estas soluções pareçam piores, para que a população as evite, se possível. As penalidades booleanas são ativadas ou desativadas, penalizando todas as soluções inválidas na mesma medida. Penalidades de escala são mais fluidas, associando uma penalidade proporcional ao grau de infração da restrição.

Função objetivo

Esta é a fórmula que calcula em que medida determinada solução proposta para um dado problema é adequada ou inadequada. No campo do algoritmo genético, ela também é referida como "função objetivo".

Funções

No Excel, uma função é uma fórmula pré-definida que assume um valor, executa uma operação e retorna um valor. O Excel contém centenas de fórmulas prontas (como "SOMA") que economizam tempo e espaço e são mais rápidas. Por exemplo, em vez de digitar A1+ A2+ A3+ A4+ A5+ A6, você pode digitar SOMA(A1:A6) e obter o mesmo resultado.

Genótipo

Em biologia, este termo se refere à constituição genética de um indivíduo. O termo geralmente se refere à totalidade dos genes do indivíduo. No estudo de algoritmos genéticos, genótipo é usado para descrever o "cromossomo" artificial que é avaliado como uma solução possível do problema.

Geração

No campo de algoritmos genéticos, cada população totalmente nova de soluções (indivíduos ou "filhos") é uma nova "geração". Algumas rotinas de algoritmos genéticos acasalam todos os membros da população de uma vez só, criando uma nova "geração" de organismos filhos que substitui a população antecedente. O Evolver avalia e substitui um organismo de cada vez (ordenado por posto) e desta forma não usa o termo "geração" na sua documentação. Esta técnica de estado de equilíbrio constante também funciona tão bem como com a reposição de gerações.

Gerador de números aleatórios

Um gerador de números aleatórios é um algoritmo para a escolha de números aleatórios, tipicamente no intervalo de 0 a 1. Esses números aleatórios são equivalentes a amostras retiradas de uma distribuição uniforme, com o mínimo de 0 e o máximo de 1. Esses números aleatórios servem como base para outras rotinas que os convertem em amostras retiradas de tipos específicos de distribuição.
Consulte Amostra aleatório; Semente

Grupo de células ajustáveis

Cada conjunto de variáveis, assim como a forma pela qual serão tratados, é um grupo de células ajustáveis. O Evolver lista todos os grupos de células ajustáveis na seção de variáveis da caixa de diálogo Modelo do Evolver. Esta arquitetura permite que problemas complexos sejam construídos e descritos como vários grupos de células ajustáveis.

Intervalos

No Evolver:

O usuário define o intervalo, ou o valor mais alto e mais baixo que é permitido ao Evolver experimentar ao ajustar uma certa variável. Embora não seja necessário para resolver um problema, definir os intervalos limita as possibilidades e restringe a busca do Evolver.

No Excel:

Um bloco de células contíguas dentro de uma planilha, que é definido pela célula superior esquerda e pela inferior direita (ex.: A5:C9 descreve um intervalo de 15 células).

Máximo global

O maior valor possível para uma dada função. Funções ou modelos complexos podem ter muitos máximos locais, mas só um máximo global.

Máximo local

O maior valor possível para uma dada função dentro de um intervalo especificado de valores. Um máximo local existe em um conjunto de valores para variáveis de uma função, se uma ligeira mudança em um ou em todos os valores das variáveis produzir um resultado menor a partir da função. (Comparar com máximo global).

Método de solução

O Evolver apresenta seis métodos de solução, cada qual usando um algoritmo customizado para resolver um tipo específico de problema. Para cada conjunto de variáveis selecionado em um problema, o usuário deve designar o método de solução associado a essas variáveis. Os seis métodos de solução são: agrupamento, ordem, receita, orçamento, projeto e agendamento.

Modelo

Para fins deste manual, um modelo é uma representação numérica de uma situação real no Excel.

Mutação

Em biologia, mutação genética é a fonte de variação necessária para a seleção natural eficaz. De forma semelhante, um algoritmo genético usa técnicas de mutação para manter a diversidade em uma população de possíveis cenários.

OptQuest

Mecanismo de otimização (algoritmo que direciona a busca da melhor solução). Os métodos do OptQuest incorporam procedimentos meta-heurísticos dos mais avançados, incluindo busca Tabu, redes neurais e pesquisa de dispersão em um único método composto.

Otimização

Processo de encontrar valores para variáveis de forma que o output de uma função possa ser maximizado (tornado o maior possível) ou minimizado (tornado o menor possível). A otimização por meio da solução de equações é fácil para funções de mudança suave com poucas variáveis, mas extremamente difícil para problemas reais. Problemas difíceis geralmente necessitam de um mecanismo de busca. O Evolver efetua a otimização usando um algoritmo genético e o mecanismo de otimização OptQuest.

População

Conjunto completo de cenários que o algoritmo genético do Evolver mantém na memória, a partir do qual novos cenários são gerados.

Restrições

Restrições são condições que devem (no caso de restrições flexíveis ou soft) ou precisam (no caso de restrições rígidas ou hard) ser obedecidas para que determinado cenário seja considerado válido.

Restrições flexíveis ou "soft"

Quando as restrições não precisam necessariamente ser atendidas, elas podem ser definidas como restrições flexíveis ou soft, em vez de rígidas ou hard. Isso pode ser feito pela especificação de uma função de penalidade no Evolver ou pela soma de uma função de penalidade à função objetivo da célula-alvo.

Geralmente é melhor usar restrições flexíveis, se possível. Isto porque: 1. o Evolver geralmente pode resolver problemas com restrições flexíveis de forma mais rápida; 2. um modelo com restrições flexíveis poderá encontrar uma solução ótima que quase atende as restrições flexíveis, que muitas vezes pode ser mais valiosa do que uma solução não tão boa mas que atende as restrições rígidas (hard).

Restrições rígidas ou "hard"

Uma restrição que obrigatoriamente precisa ser atendida. Por exemplo, os intervalos de variáveis em um problema tipo receita podem ser restrições rígidas (hard); como no caso de uma variável definida entre 10 e 20 que nunca pode assumir um valor menor que 10 ou maior que 20.
Consulte Restrições flexíveis ou "soft".

Sobrevivência do mais apto

O conceito de que organismos melhor adaptados a um ambiente têm maior probabilidade de sobreviver o tempo suficiente para se reproduzir e passar seus genes para a próxima geração da população.

Solução

Todo sistema contém muitas variáveis de entrada que produzem um output. No Evolver, uma "solução" em geral se refere a uma das possíveis combinações de variáveis, e não só *à* melhor combinação.

Tentativas

O processo pelo qual o Evolver gera um valor para cada variável do problema e recalcula o cenário para avaliação.

Índice remissivo

A

Adicionar – como inserir restrições 63
algoritmo, definição 99
algoritmos genéticos
  por que usar? 17
Andamento do gráfico
  figura 37
Arquivo LeiaMe 10

B

backtracking 137
bancos de dados 108
barra de status 150
barra de status 85

C

caixa de diálogo Modelo 26, 47
célula-alvo 27, 48, 150
células ajustáveis 28, 49
Comando Configurações da aplicação 81
Comando Solver de restrições 82
Como aprender a usar o Evolver 10
condições de parada 68

E

especificações técnicas 135
Evolver
  o que é? 13
  Tutorial 10
Evolver
  por que usar? 17

F

função objetivo 23, 48
funções de penalidade
  como usar 132
  exemplos 131
  explicação 128

G

gerações
  por que não são usadas 135
Glossário 149
gráficos 39, 86

H

hill climbing
  descrição 107
  exemplo 106
  uso do Solver 104

J

Janela Progresso 79

M

método de solução agendamento
  descrição 60
método de solução agrupamento
  descrição 56
método de solução orçamento
  descrição 58
método de solução ordem 55
  descrição 55
método de solução projeto
  descrição 59
método de solução receita
  descrição 54
método de substituição 137
Método simplex 105
métodos de solução
  como restrições 126
minutos 68

O

Objetivo da otimização 27, 48
Observador 39, 85
Observador do Evolver 39, 85
opções de tempo de execução 68
operador genético 74
Operadores 73, 74
otimização
  métodos 99
  o que é? 15

P

paisagem de soluções 100
Palisade Corporation 5
pool genético 119
problemas
  baseados em tabela 108
  combinatórios 108
  lineares 105
  não lineares 107
problemas baseados em tabela 108
problemas com múltiplas metas 133
problemas combinatórios 98–99
problemas lineares 105
problemas não lineares 107

R

redesenhar tela
  figura 37
Remoção do Evolver do computador 7
restrições 133
  como funcionam 137
restrições flexíveis 31, 63
restrições rígidas 31, 63
restrições soft (flexíveis) 64, 128
rotina de seleção 135

S

solução global solution
  comparada à solução local 104
solução local
  comparada à solução global 104

T

taxa de crossover 72, 88, 118
  como funciona 136
taxa de mutação 72, 88
  como funciona 137
tutorial 10

V

velocidade, como aumentar 134